

DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

REVUE MENSUELLE

SEPTEMBRE 1960

Treizième année, N° 153

SOMMAIRE

	Pages
E. MAIGROT, F. MARCHAL, L. FRUITET, J. ANDROUAI, Le plus grand gymnase de France . . . Série : Construction métallique (34)	873
J. TOURNYOL DU CLOS, Utilisation des machines à calculer électroniques pour les problèmes de la construction Série : Théories et méthodes de calcul (40)	893
X D. PETROCOKINO, Les divers aspects de la corrosion des armatures dans les ouvrages en béton armé et précontraint Série : Questions générales (46)	915
Documentation technique réunie en avril 1960 Série : Documentation technique (153)	937
X J. MONGIN, Nouveau palais des sports, porte de Versailles Série : Construction métallique (35)	953
V. LOUIS, Quelques éléments du tableau de bord du chef d'entreprise : les ratios Série : Questions générales (47)	967
R. M. BERTHIER, Recherches récentes sur le gel des matériaux de construction et leurs conséquences pratiques Série : Essais et mesures (48)	985

**CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES
ET DE DOCUMENTATION TECHNIQUE**
9, RUE LA PÉROUSE, PARIS (XVI^e)

**LABORATOIRES DU BATIMENT
ET DES TRAVAUX PUBLICS**
12, RUE BRANCION, PARIS (XV^e)

BUREAU SECURITAS
4, 6, RUE DU COLONEL-DRIANT, PARIS (1^{er})

**CENTRE D'INFORMATION ET DE
DOCUMENTATION DU BATIMENT**
100, RUE DU CHERCHE-MIDI, PARIS (VI^e)

COLLECTION DES CAHIERS DE LA RECHERCHE THÉORIQUE ET EXPÉRIMENTALE SUR LES MATÉRIAUX ET LES STRUCTURES

VIENT DE PARAÎTRE

Cahier n° 10

RÉUNION D'INFORMATION SUR L'EAU DANS LES CORPS POREUX

PREMIÈRE PARTIE

De nombreux Laboratoires s'intéressent aux questions de capillarité, perméabilité, succion, des phénomènes concernant les mouvements de l'eau dans les corps poreux. Mais on constate que leurs travaux restent le plus souvent circonscrits dans un cadre étroit et que les contacts manquent entre les recherches analogues poursuivies par les chercheurs de différents pays.

En attendant une confrontation internationale — qui aurait, en premier lieu, le mérite de permettre un rapprochement entre les chercheurs d'Europe et leurs collègues des États-Unis ayant les mêmes préoccupations — envisagée par le R.I.L.E.M. (Réunion Internationale d'Essais et de Recherches des Matériaux et des Constructions), il fallait dégager le point de vue français. Tel a été le but de la réunion organisée à Saint-Rémy-les-Chevreuse en juin 1959.

Il s'imposait d'abord de bien préciser le sujet. En effet, les « mouvements de l'eau dans les corps poreux » comprennent un certain nombre de phénomènes qui sont :

- le mouillage
- la porosité
- la capillarité
- la succion
- le drainage
- l'évaporation
- la perméabilité à l'eau et à la vapeur
- l'osmose
- l'électro-osmose, etc.

Ensuite, si l'on examine les incidences de ces phénomènes, on s'aperçoit qu'elles sont extrêmement nombreuses.

En mécanique des sols : drainage, irrigation, gonflement, tassement.

Dans l'étude des matériaux courants : action de l'atmosphère, gélivité, retrait et gonflement du béton.

Étant donné l'étendue et la complexité du sujet, il a été fait appel à des chercheurs de différentes disciplines dont les exposés sont maintenant réunis par les Cahiers de la Recherche Théorique et Expérimentale sur les Matériaux et les Structures.

Un volume de 162 pages, 21 × 27. Broché 26 NF
Franco..... 26,90 NF

En vente à la Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 9, rue La Pérouse, Paris (16^e) C.C.P. Paris 8524-12 et aux Éditions Eyrolles, 56, boulevard Saint-Germain — Paris (5^e)

NOMOGRAMMES DE FLAMBEMENT

DURAND-SFINTESCO

pour le dimensionnement ou la vérification des éléments comprimés axialement en acier ADx, en application des Règles CM 1956, permettant :

- le choix immédiat de la section la plus avantageuse,
- la lecture directe de la charge admissible.

La série comprend :

- trois feuillets en quatre couleurs de 72 × 34 cm pour les sections usuelles (une, deux ou quatre cornières à ailes égales ou inégales, un fer T, un ou deux fers U, ainsi que les poutrelles IPE, IPN, IAP, HN et HE);
- six feuillets en deux couleurs de 72 × 34 cm permettant d'inscrire des sections quelconques (profils en tôle pliée, tubes, profils spéciaux, etc.)

Une règle transparente de 60 cm est livrée avec les nomogrammes.

En vente à la Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 9, rue La Pérouse, Paris (16^e)
au prix de : 50 NF (franco : 52 NF) — C.C.P. Paris 8524-12

SUPPLÉMENT AUX

ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

SEPTEMBRE 1960

Treizième Année, N° 153

Série : CONSTRUCTION MÉTALLIQUE (34)

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES — SÉANCE DU 9 FÉVRIER 1960

sous la présidence de **M. L. HAUTECEUR**,

Membre de l'Institut, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Beaux-Arts

Centre Sportif d'Éducation Physique du XIII^e — 83, boulevard Masséna

LE PLUS GRAND GYMNASSE DE FRANCE

Conception générale et ossature métallique du grand hall

par **MM.****E. MAIGROT**, de l'Académie d'Architecture et de The New-York Academy of Sciences**François MARCHAL**, Ingénieur E. C. P.**L. FRUITET**, Ingénieur E. C. P., Chef du Bureau d'Études aux Établissements Besson et Lepeu**J. ANDROUAIS**, Ingénieur aux Établissements Besson et LepeuASSOCIATION FRANÇAISE DES PONTS ET CHARPENTES
INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

Je suis très flatté de l'honneur que m'a fait l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, lorsqu'il m'a demandé de présider cette séance consacrée à un exposé de mon cher et vieil ami Maigrot. Je n'ai pas besoin de vous présenter l'orateur. Vous connaissez tous les beaux travaux qu'il a exécutés, en particulier dans la Marne, les écoles qu'il a construites, les halles de Reims qu'il a élevées avec M. Freyssinet, et qui ont été fort remarquées il y a plus de vingt ans. M. Maigrot joint à la science du constructeur le goût de l'architecte. Il va vous en donner une nouvelle preuve en vous montrant le grand gymnase qu'il achève de bâtir et c'est pourquoi je lui passe aussitôt la parole.

RÉSUMÉ

M. Maigrot, architecte, expose et commente les motifs et les décisions qui l'on amené à la réalisation définitive du plus grand gymnase de France.

Il explique pourquoi des six halls imposés dans le projet, il eut l'idée de livrer la surface totale de jeux et de confondre en un seul espace les six terrains réclamés tout en réservant cependant leur indépendance.

Il retrace comment, se souvenant de la réalisation d'un marché couvert, avec seulement deux points d'appui intérieurs, les quatre façades restant ouvertes, il songea à écarter ces deux points d'appui intérieurs pour les transporter dans l'axe de chacune des façades, libérant ainsi toute la surface intérieure.

M. Marchal rappelle les données du projet :

- dimensions importantes du volume intérieur, entièrement libre (superficie de 5 000 m² et hauteur de 12,50 m);
- mauvaise qualité du sol;
- contraste entre les dimensions du hall et celles des annexes;
- désir de marquer à l'extérieur les lignes verticales.

Puis il décrit la structure de cet édifice qui est en arête de poissons, l'épine dorsale étant constituée par un portique de 60 m de portée, placé suivant le petit axe du rectangle couvert, et les arêtes étant des fermes espacées de 5 m, prenant appui en leur milieu sur le portique et à leurs extrémités sur des potelets de longs pans.

M. Fruitet examine dans le détail l'ossature métallique de cet édifice.

Il en rappelle le principe et décrit le portique principal et les fermes secondaires. Il souligne l'importance des charges prises en compte par le portique et donne les réactions verticale et horizontale pour un appui principal et pour un appui secondaire.

M. Androuais, le réalisateur, expose le montage de ces charpentes, et le portique central étant la pièce la plus importante à mettre en place, son levage fait l'objet principal de cet exposé.

Il aborde également la mise en place des demi-fermes, contreventements et pannes.

SUMMARY

Mr. Maigrot, the architect, presents and analyzes the reasons and the decisions that led him to the definitive realization of the largest gymnasium in France.

He explains how, from the initial plan which called for six halls, he came to conceive the idea of freeing the whole space and of merging the six required grounds into a single one in such a way that they would at the same time remain independent.

He recalls how remembering the construction of a covered market, with only two inside points of support, the four façades remaining open, he contemplated moving these two inside points of support in order to transfer them to the axis of each of the façades, thus freeing the entire inner surface.

Mr. Marchal recalls the data of the project :

- considerable dimensions of the inner space, which is entirely free (5980 sq.yd. of area in plan, with a height of 41 ft.);
- poor quality of the soil;
- contrast between the dimensions of the hall and those of the annexes;
- the wish to emphasize the vertical lines on the outside.

Then he describes the structure of this building, which is of the fishbone type, the spine being composed of a portal frame with a span of 196.8 ft. placed along the small axis of the covered rectangle, and the bones being trusses spaced 16.4 ft. apart, supported at the center on the portal frame and at their ends on columns of long panels.

Mr. Fruitet examines in detail the steel frame of the building. He recalls its principles and describes the main portal frame and the secondary trusses. He stresses the importance of loads carried by the portal frame and gives the vertical and horizontal reactions for a main support and for a secondary support.

Mr. Androuais, the builder, describes the assembling of these frames and as the central portal frame is the largest element to place, his report deals mainly with its lifting.

He deals also with the placing of the half-trusses, wind-bracings, purlins.

EXPOSÉ DE M. MAIGROT

Je tiens avant tout à remercier de façon toute particulière, l'éminent président de cette séance, M. Louis Hauteœur, auquel une très vieille et sincère amitié me lie ; mais beaucoup plus anciennes sont ses connaissances et il ne pouvait être aujourd'hui de meilleur président que celui qui, dès avant Artaxerxès et au travers de l'Égypte, de la Grèce, de Rome, du Moyen Âge, de la Renaissance, sans oublier les grandes époques françaises plus proches de nous, et la nôtre, en plus de tous les arts qui lui sont familiers, a recherché, commenté et révélé toutes les méthodes de l'Art de construire, — et pour cela je le remercie de l'honneur qu'il veut bien aujourd'hui me faire de sa présence.

Je remercie également l'*Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics* d'avoir bien voulu, (me rajeunissant) me convier à présenter aujourd'hui une partie de l'œuvre que nous avons exécutée au Centre sportif d'éducation physique du XIII^e arrondissement, dans sa partie purement architecturale — celle de l'Art des jardins étant depuis longtemps (quelque dix ans) et au travers de ses modifications de composition et de structure, maintenant et pour la plus grande part réalisée.

Il m'est agréable (il s'y joint un peu, oh! très peu, d'amertume) car c'est m'obliger à constater combien rapides sont passées les années depuis la première conférence que j'étais amené à faire, sinon dans cette salle du moins dans celle où débuta l'Institut Technique, il y a vingt-six ans, le 21 mars 1934, et présidée par M. Caquot, Membre de l'Académie des Sciences.

J'ai l'impression qu'entre ces deux dates, s'il y a un changement, venant ici après avoir prôné le béton armé, c'est d'y venir aujourd'hui exalter l'emploi du fer dans ses possibilités. Je le dois en très grande partie et d'indirecte façon à un ingénieur éminent — que nous considérons comme un très grand architecte, l'Inspecteur Général Freyssinet, qui, à cette première séance, siégeait d'ailleurs en co-auteur, à mes côtés.

Il y a un quart de siècle, à cette même tribune, nous exposons l'évolution et la réalisation des halles de Reims qu'ensemble, M. Freyssinet et moi-même, avec la collaboration d'un disparu, Gaston Lemarck, nous venions de terminer. Et ce m'était l'occasion d'affirmer déjà, ce qui était ma conviction profonde, qu'il n'était possible, à notre époque de transformation, de réaliser de belles ou grandes choses qu'en la communion complète de deux pensées étroitement confondues dans un binôme indivisible, ce qui d'ailleurs permettait au président Caquot de rappeler qu'à la colonnade de Perrault au Louvre, comme au Panthéon, par Rondelet et Soufflot, cette communion fut réalisée.

Depuis, l'idée a fait son chemin. On en a clamé la nécessité, écrit, disserté et imposé la loi inéluctable.

Si, en débutant, j'ai parlé de l'Inspecteur général Freyssinet, c'est que j'ai retenu de nos conversations, des exposés que j'entendais, un très grand principe : celui de voir *simple* et que les possibilités constructives pour des esprits clairs judicieusement associés, tendaient vers des limites insoupçonnées, et l'œuvre que j'ai l'honneur de vous présenter aujourd'hui n'est autre chose que l'application de ce grand principe.

Comme la plupart des Français, il est des architectes moyens, et je me flatte d'en être, possédant un peu de bon sens, de réflexion et la conviction qu'en recherchant la collaboration d'esprits spécialisés, on doit mener à bien une œuvre commune.

Aussi laisserai-je le soin d'exposer l'économie de celle présentée aujourd'hui à ceux qui ont été pour une part les auteurs de sa réalisation.

Je n'ai fait que rêver et assembler des formes dans l'espace, mais c'eût été peu stable sans l'aide étroite, tenace, constante de ceux qui les ont matérialisées, et tiens à n'être ici que l'Architecte, exposant ou commentant les motifs, ou les décisions qui ont amené à la réalisation que nous vous exposons aujourd'hui.

A l'origine, collaborant avec mon jeune confrère et ami Gauthier qui maintenant préside aux destinées des expositions françaises à travers le monde, nous fut confiée la mission d'étudier un stade omni-sports devant être réservé aux élèves de l'École Polytechnique.

Il me reste, des contacts que j'eus à l'époque avec le commandant de l'École, le Général Calvel, et le Secrétaire Général aux Sports, polytechnicien lui aussi, Borotra (le Basque bondissant), les souvenirs les meilleurs et les plus productifs.

La disposition générale du stade est fonction de cette destination première — et si les plans d'origine ont pu revêtir quelque grandeur, qui se manifestera, je l'espère, quand les arbres, les plantations auront atteint leur plénitude, ils n'ont été que la résultante directe d'une volonté d'exprimer, de maintenir, jusque dans le cadre de la pratique des sports, le caractère d'ordonnement, d'équilibre qui, entre autres, affirment les qualités de l'esprit de la « Grande École Française » dont, momentanément, nous devenions sur un point spécial, dépositaires.

Les événements, plus forts que les hommes, ont, au cours de cette première période d'exécution modifié profondément la destination première ; construites,

démolies, remaniées, diverses parties de l'ensemble ont dû subir des modifications entre le projet initialement accepté et celui présenté aujourd'hui qui n'a rien de définitif, des parties restant à exécuter.

D'un stade destiné à une Grande École — c'est-à-dire d'un établissement privé, réservé, régi par des règles strictes, (il fut même question à ma demande de grouper plusieurs écoles), on a dû envisager de livrer aux sports populaires, à l'usage de tous les groupements, ce qui devait être privé, mais la Ville de Paris se devait à elle-même de faire cet effort.

Donc, programme presque inchangé dans le domaine du sport, mais par contre, suppression complète de bâtiments très importants et de destinations diverses, prévus à l'origine — dans leurs services, leurs ateliers, leur caractère, leur destination même.

Je vais vous présenter rapidement ce que fut cette étude acceptée à l'origine.

La composition générale avait été conçue sur un axe transverse dégageant sur tout l'ensemble le terrain vers le boulevard périphérique et fermant la composition vers le nord (boulevard Masséna).

L'entrée du stade (privé à cette époque) était marquée

en tête de cet axe sur une cour d'entrée, formant cour d'honneur, cette dernière étant fermée vers l'est par les ateliers destinés aux élèves.

Un grand espace libre était conservé entre le bâtiment principal et le terrain de jeu afin de donner à l'ensemble un caractère de grandeur.

En dehors de cet axe principal, un second parallèle avait été prévu pour ménager le groupe d'écoles qui était construit sur la rue Émile Levassor et que l'on faisait ainsi participer à l'ensemble de la composition.

J'ai dû, en raison du changement imposé, abandonner toute la partie située au-dessus de la grande allée d'arbres ouest-est - et sans modifier le principe général, supprimer une partie du grand espace libre prévu au début, entre le bâtiment principal et le terrain de jeux - et conservant l'axe général, remplir cet espace par la construction en plein centre du grand-hall groupant, autour de cette entrée, les pavillons de surveillance ou médicaux, - et réservant les emplacements de la piscine enfantine et du gymnase spectaculaire.

Une seconde entrée était réservée sur l'avenue de Choisy avec sortie sur le rond-point pour l'usage constant des terrains.

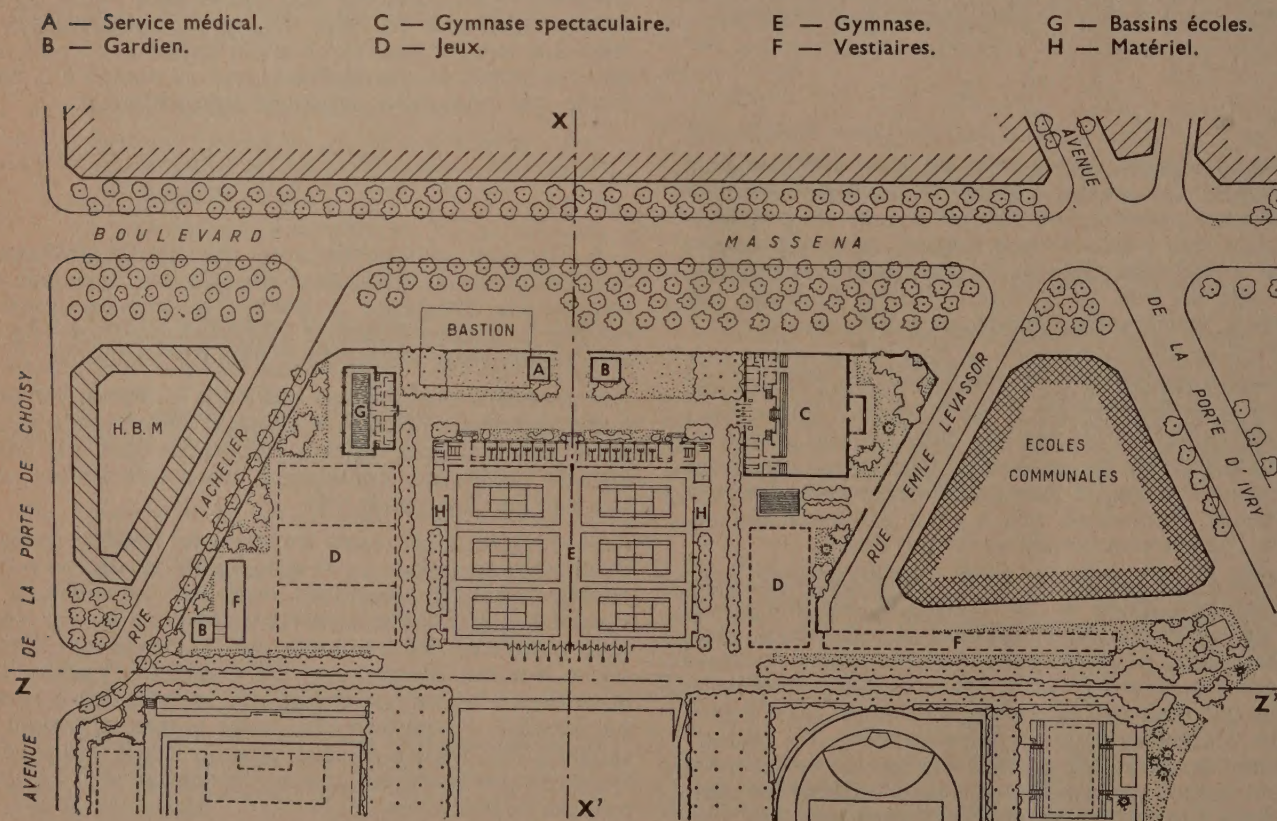


FIG. 1

Et j'en arrive aux raisons qui ont amené à la dernière conception — celle en cours d'exécution.

La pratique des sports se développant de jour en jour, l'Administration préfectorale s'est trouvée dans l'obligation d'hospitaliser de nombreux clubs ou groupements, suivant la fantaisie de possibilités incertaines, de créations spasmodiques et au prix de dépenses souvent renouvelées.

Elle décida de remédier à cet état de choses en prévoyant la construction et l'installation de locaux spécialement affectés à des usages déterminés, et l'ordre de mise à exécution mentionnait dans son programme :

« Étudier la construction de six halls couverts, type Porte de Versailles amélioré, d'un seul tenant par mesure d'économie (disposés côte à côte, si possible) ».

Ce projet fut mis à l'étude immédiatement; les six halls imposés se promènèrent, accompagnés de leurs annexes nécessaires et d'autres services demandés, suivant la fantaisie du crayon dans un terrain d'une

irrégularité décevante en essayant toutefois, compte tenu des impératifs sportifs, de raccorder ces études avec les éléments déjà réalisés du stade.

J'obtins au début peu de satisfaction — une indécision complète était en moi et c'est à cette époque que je me souvins de la maxime de celui que je considère en l'espèce comme mon maître constructeur, Freyssinet :

« Voir simple ».

Et brusquement l'idée s'ancrait en moi de répondre aux besoins imposés pour la « parfaite exécution sportive » du programme, c'est-à-dire en livrant la surface totale de jeux (et de confondre en un seul espace les six terrains réclamés, réservant cependant sans gêne leur indépendance.

Ce fut, je crois, non la « Marche à l'étoile » chère aux Montmartrois de ma jeunesse, mais celle vers la « simplicité » dépouillée de toute entrave, de toute surenchère, et je m'arrêtais définitivement à l'idée de la « Salle unique », cette conception permettant, au gré de néces-

- | | | | |
|-----------------------|------------------|---------------------------|--------------------|
| A — Cour d'honneur. | E — Volley-ball. | I — Rugby. | M — Pelote basque. |
| B — Club restaurant. | F — Tennis. | J — Éducation physique. | N — Repos. |
| C — Piscine. | G — Hockey. | K — Basket-ball. | |
| D — Jardin d'enfants. | H — Foot-ball. | L — Parcours à obstacles. | |

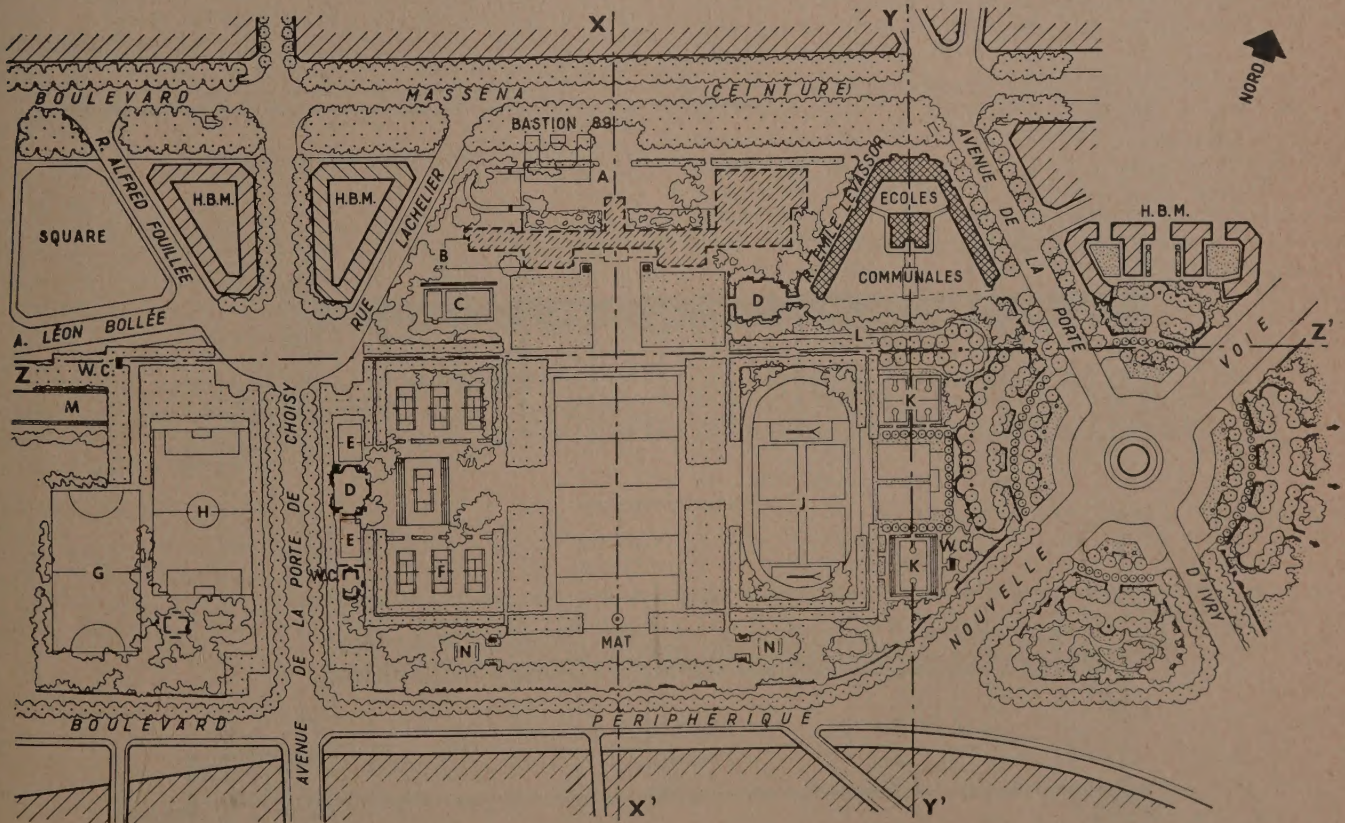
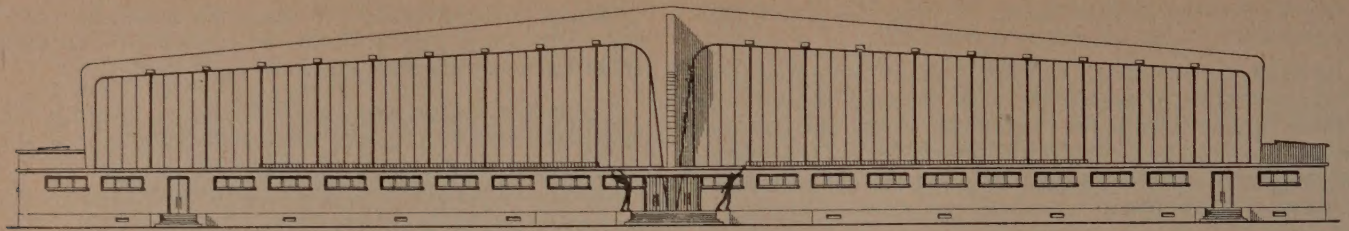
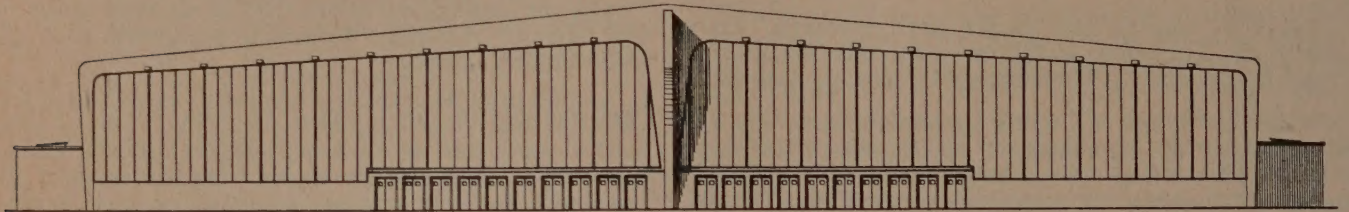


FIG. 2

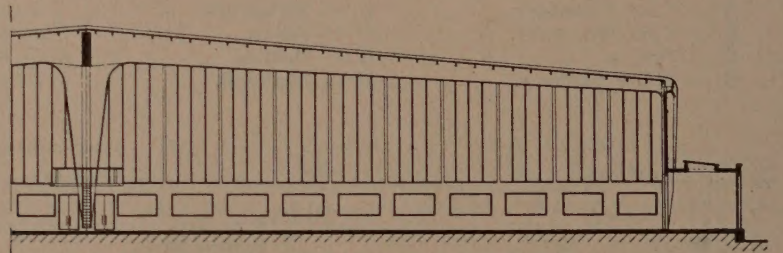


Façade avant.

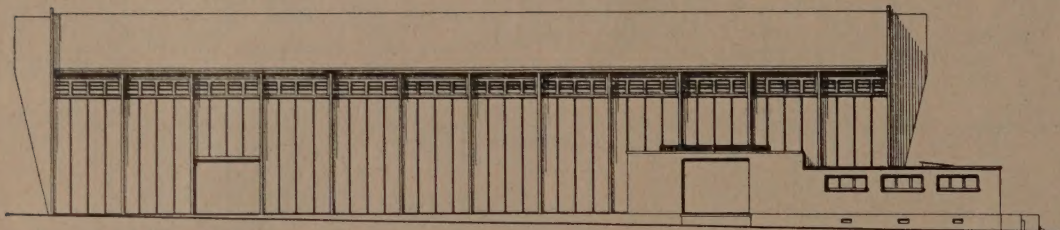


Façade arrière.

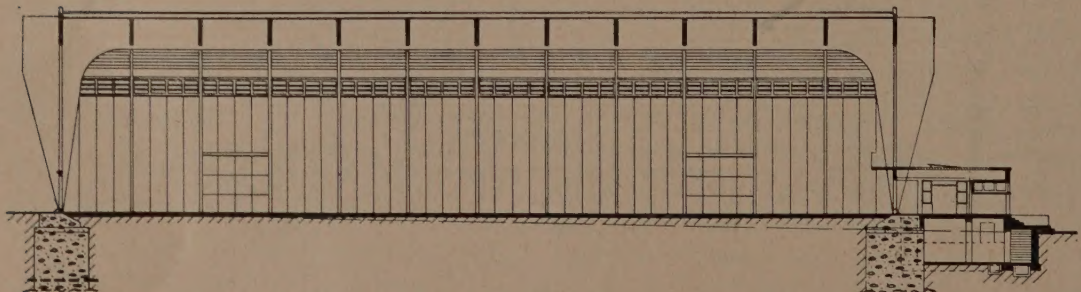
FIG. 3



Demi-coupe longitudinale.



Façade transversale



Coupe transversale

sités ou d'impératifs différents d'abriter des manifestations plus importantes ou s'adressant à un public plus nombreux.

Un seul moyen pouvait répondre à tous ces desiderata : réduire, ou, supprimer, tous points d'appui intérieurs toujours inopportuns.

En fanatique, en Croyant du Béton que je suis, je me livrais à divers essais, soumis en cours d'étude à l'Administration, mais conservant dans tous, cette surface libre d'environ 5 000 m² (très exactement 83 × 60, soit 4 980 m²).

Les études présentées étaient discutées, modifiées (je fis dix-huit plans d'ensemble différents) pour répondre à des impératifs sportifs ou administratifs, — et l'œuvre dix-huitième étant acceptée, on me fit remarquer que j'étais retardataire sur mon époque, que le béton... ne semblait pas être dans ce cas la formule de l'heure et, par voie de conséquence, on me demandait de présenter des études métalliques (plus tard, on parla même de bois).

On ne résiste pas à la Grande Dame qu'est la Ville de Paris. Un désir exprimé par elle devient un ordre, et je m'inclinai repartant à zéro.

Si j'éprouvais une admiration profonde pour certaines réalisations métalliques faites par des hommes de génie au cours d'expositions ou de manifestations diverses, galeries monumentales, tour, viaduc, dont la légèreté tendait vers les limites de la science, aussi de très grandes salles de bibliothèques, et de hall de gare suisse, par exemple, et tout spécialement de cette splendide Galerie des Machines de 1889, malheureusement disparue, car c'était une très belle et grande chose; j'avais par contre peu de sympathie, je l'avoue, dans l'ordre de la structure, pour les treillis de tous ordres, de toutes tailles, des profilés, tirés à millions d'exemplaires, employés dans les travaux moyens ou importants et ma perplexité, comme mon incompétence dans l'emploi esthétique de ce matériau étaient grandes —, lorsqu'au hasard heureux d'une rencontre fortuite avec un mien ami, constructeur, qui s'était lancé dans ce genre d'opération, — je me rappelai nos conversations sous la lampe, à bâtons rompus, où l'on parlait d'art, de séances sportives, et aussi des possibilités de structure, des horizons ouverts aux architectes que devait offrir la tôle pliée ou soudée.

Ce fut mon Chemin de Damas.

Sans oublier mon passé, que je classais pour l'heure en réserve, comme un objet de bibliothèque, je me mis à penser « tôle soudée ». Mais *que faire alors qu'avec ferveur on pense*, sinon chercher les moyens de réaliser.

C'est de ce moment que date ma conversion, mon ralliement plutôt, sans pour cela oublier mes croyances premières.

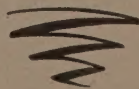
De la pensée, si elle est bien arrêtée, à l'action, il n'y a qu'un pas à franchir, geste que j'accomplis en recommandant un certain nombre d'études, mais toujours désagréablement figé par l'aspect rébarbatif de fermes portantes multiples et de grande portée envisagées pour couvrir un terrain de cette surface.

Pensant béton, traduisant métal, songeant à des hangars et influencé par les formes architecturales nouvelles, j'essayais de porte-à-faux, sans toutefois arriver à me satisfaire, lorsque me souvenant d'études anciennes que j'avais faites il y a quelque vingt ans, pour une salle moyenne (un marché) de 3 500 m², avec seulement deux points d'appuis intérieurs, les quatre façades restant ouvertes, je songeais à écarter ces deux points d'appui pour les transporter dans l'axe de chacune des façades, libérant ainsi toute la surface intérieure. Cette disposition marquant en même temps, en plan, la disposition de six jeux groupés trois par trois sur une allée séparative centrale.

À partir de cet instant, tout devint clair et facile. Le problème, pour moi du moins, était résolu et je présentais à l'acceptation des services préfectoraux le projet définitif — conservant toujours la surface de 5 000 m² axée dans la composition générale de l'origine et qui fixa ainsi la partie réservée au grand hall — tous ses satellites, gymnase spectaculaire, piscine de débutant, services généraux, vestiaires, etc... gravitant autour de cet attractif point central.

Tenant à ne pas dépasser les limites strictes que je me suis imparties, je vous présente très rapidement le résultat obtenu dans le cadre et le complément de l'étude première, et aussi dans le respect d'une œuvre antérieurement exécutée sur une partie de ce terrain par un de nos confrères et que j'englobais dans l'ensemble, vous signalant simplement au passage que si le tonnage total de l'œuvre est de 480 t, l'ensemble formé par la poutre maîtresse dans ses trois tronçons ajustés pèse 57,750 t; chacune des béquilles 18,760 t, soit dans l'ensemble, avec 6 t de boulons, ce que l'on peut traduire par 100 t; que la mise au levage de la poutre centrale à la cote de 14 m de hauteur a demandé trente-cinq minutes pour sa mise en place et que l'ajustement des trois éléments — poutre et béquilles — a été effectué en quatorze heures d'affilée.

L'ensemble de la mise en place, commencée le 3 juillet 1959 et terminée fin août, a été l'œuvre d'une équipe de trois hommes — chef ou adjoints aidés de trois ou quatre manœuvres — auxquels, dans leur anonymat, je tiens à rendre personnellement hommage.



EXPOSÉ DE M. François MARCHAL

M. Maigrot vous a exposé comment il était arrivé à un projet dont la réalisation a fait l'objet d'un concours. À la suite de ce concours, l'exécution de l'ouvrage a été confiée à la *Société Générale de Construction, d'Etudes et de Préfabrication*, dont plusieurs réalisations, comme le garage de Merlebach, ou le nouveau hall du Parc des Expositions, porte de Versailles, ont déjà fait l'objet de communications dans cette salle.

Nous avons présenté un projet étudié en collaboration avec la *S.E.C.R.O.M.*, bureau d'étude spécialisé dans la charpente métallique.

Les données particulières du projet, telles que nous les avons dégagées, se résumaient comme suit :

Premièrement, dimensions importantes d'un volume

entièrement libre. Une superficie au sol de 60 m × 83 m soit 5 000 m² sans appui intérieur, et une hauteur de 12,50 m.

Deuxièmement, une mauvaise qualité du sol. Il existe des carrières à environ 13 m de profondeur, au-dessus le remblai des anciennes fortifications ; enfin des tranchées de défense passive dont l'effondrement progressif est en cours.

Troisièmement, le contraste entre les dimensions et la structure du hall et celles des annexes qui, bien qu'architecturalement intégrées, devaient être désolidarisées techniquement.

Quatrièmement, le parti architectural : marquer à l'extérieur les grandes lignes verticales.

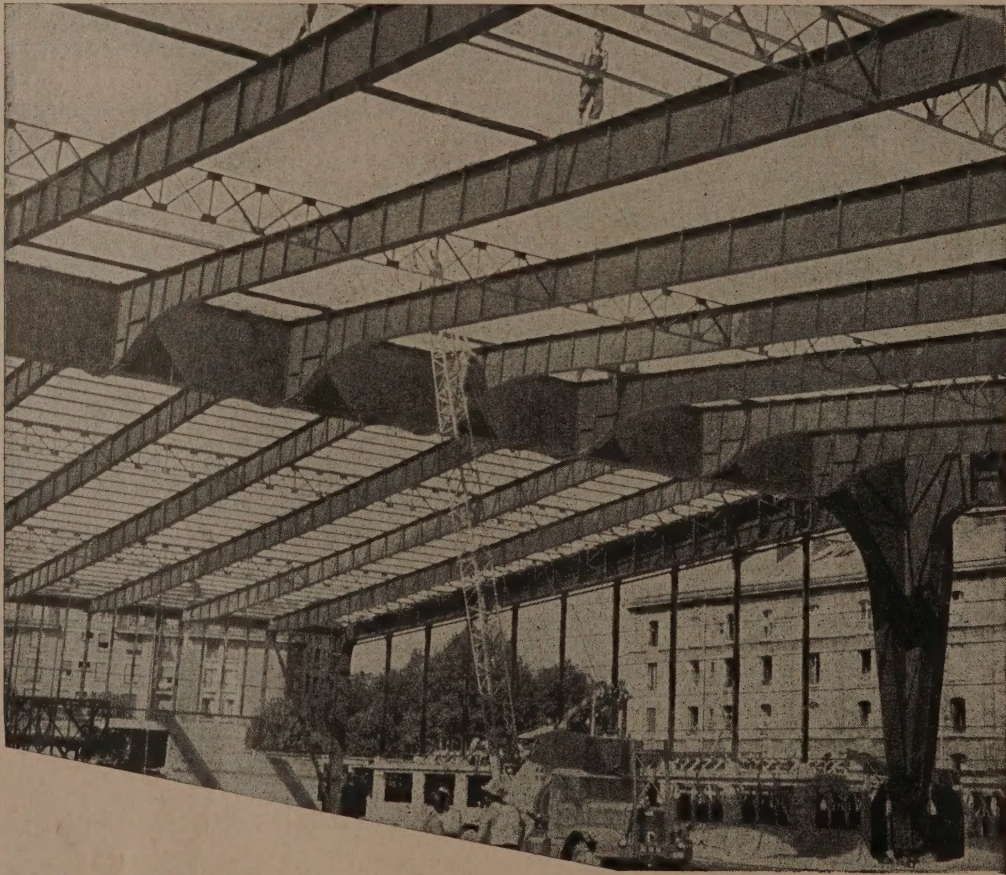


FIG. 1

La nature du terrain imposait une construction légère qui devait pouvoir supporter éventuellement quelques tassements locaux sans désordres irréparables. La charpente métallique a permis d'apporter à ce problème une solution particulièrement élégante puisqu'il a été possible de couvrir 5 000 m² en réduisant à deux, les points d'appuis principaux.

Imaginez une structure en arête de poisson. L'épine dorsale est constituée par un portique de 60 m de portée, placé suivant le petit axe du rectangle couvert. Ce portique repose par l'intermédiaire de rotules sur deux massifs en maçonnerie qui constituent les seules fondations importantes de l'ouvrage, fondations pour lesquelles il a été nécessaire de descendre des puits à 15 m de profondeur. Ces massifs sont reliés en tête par un tirant précontraint enrobé dans du béton.

A partir de cette épine dorsale vous avez les arêtes qui sont constituées par des fermes, distantes les unes des autres de 5 m et venant s'appuyer à leurs extrémités sur des potelets de longs pans. Les charges de toiture sont ainsi reportées pour leur majeure partie sur le portique et finalement sur les deux appuis principaux. Les potelets sont articulés en pied et en tête et supportent par l'intermédiaire de lisses en tôle pliée les bardages en maçonnerie.

Les palées de façade forment portiques doubles avec les poteaux d'angle et les pieds droits du portique principal. Les potelets de façade qui ne servent qu'à tenir les bardages sont fixés en partie basse et articulés en tête.

Pour transmettre les efforts dus au vent, le dispositif de contreventement comprend :

- a) deux poutres suivant les rampants des façades qui reportent les efforts du vent nord-sud dans le plan du portique ;
- b) une poutre au vent dans l'axe du bâtiment qui transmet les efforts aux palées des façades.

Cette conception a permis une économie très importante sur les fondations qui se limitent aux deux puits principaux. Tous les efforts transmis par les potelets et les poteaux d'angles sont repris sur des semelles filantes en long pan et en façade qui répartissent les charges sur le sol. Ces semelles filantes et le mur de soutènement de l'ouvrage constituent de véritables poutres qui peuvent franchir en toute sécurité des fontis de l'ordre de 5 m. Le taux de travail sur le sol est inférieur à 500 g/cm².

Cet ouvrage se présente donc comme un grand parapluie couvrant 5 000 m² et reposant seulement sur deux fondations importantes. Un chiffre vous fixera sur la légèreté de cet ensemble malgré l'importance des portées. La charpente pèse environ 7 kg au mètre cube.

Un mot encore sur les bardages et la couverture : les bardages des longs pans sont en maçonnerie de briques, entièrement supportés par l'ossature métallique, de manière à suivre sans désordre les déformations de la charpente.



FIG. 2

Les façades doivent être bardées en plaques ondulées de Polyester. J'ai dit « doivent » car les travaux sont actuellement arrêtés. L'Administration étudie en effet depuis plusieurs mois, s'il n'est pas opportun de substituer un nouveau produit, présentant de meilleures caractéristiques au feu, à l'échantillon préalablement adopté.

La ventilation est assurée par des bandes horizontales de persiennes métalliques situées à la partie supérieure des longs pans. La toiture est réalisée en plaques ondulées d'amiante ciment, au pourtour de chaque versant et de polyester au centre. Les faibles pentes de cette toiture 10 % environ et les dimensions des versants rendent nécessaire l'utilisation de compléments d'étanchéité qui sont constitués par des boudins de sécomastic pour l'amiante-ciment et par des joints de Tramifalt, pour le polyester.

Je n'insisterai pas sur les autres parties du projet qui sont d'une conception courante et je cède la parole au réalisateur de cette charpente.

EXPOSÉ DE M. FRUITET

M. Marchal vient de vous exposer la conception générale et les grands traits de l'ouvrage. Je vais maintenant vous en présenter les détails les plus caractéristiques en illustrant cette description à l'aide de quelques dessins et photographies.

Description générale de l'ossature.

La figure 1 schématise le plan de l'ossature. Sur la petite médiane du rectangle à couvrir, de 60×83 m, nous disposons un portique principal de 60 m de portée,

dont la fonction sera de reporter sur deux appuis principaux la plus grande partie possible des charges de la toiture (charges permanentes et surcharges climatiques).

Pour atteindre cet objectif, nous disposons des fermes à l'écartement de 5 m d'axe en axe, à deux travées continues de 41,50 m de portée. Sur l'appui central, constitué par la traverse du portique, la continuité des fermes permet de reporter la réaction maximale. Les deux autres lignes d'appuis, sur les petits côtés du rectangle, sont au contraire des appuis simples, constitués par les potelets de façades, articulés tête et pied.

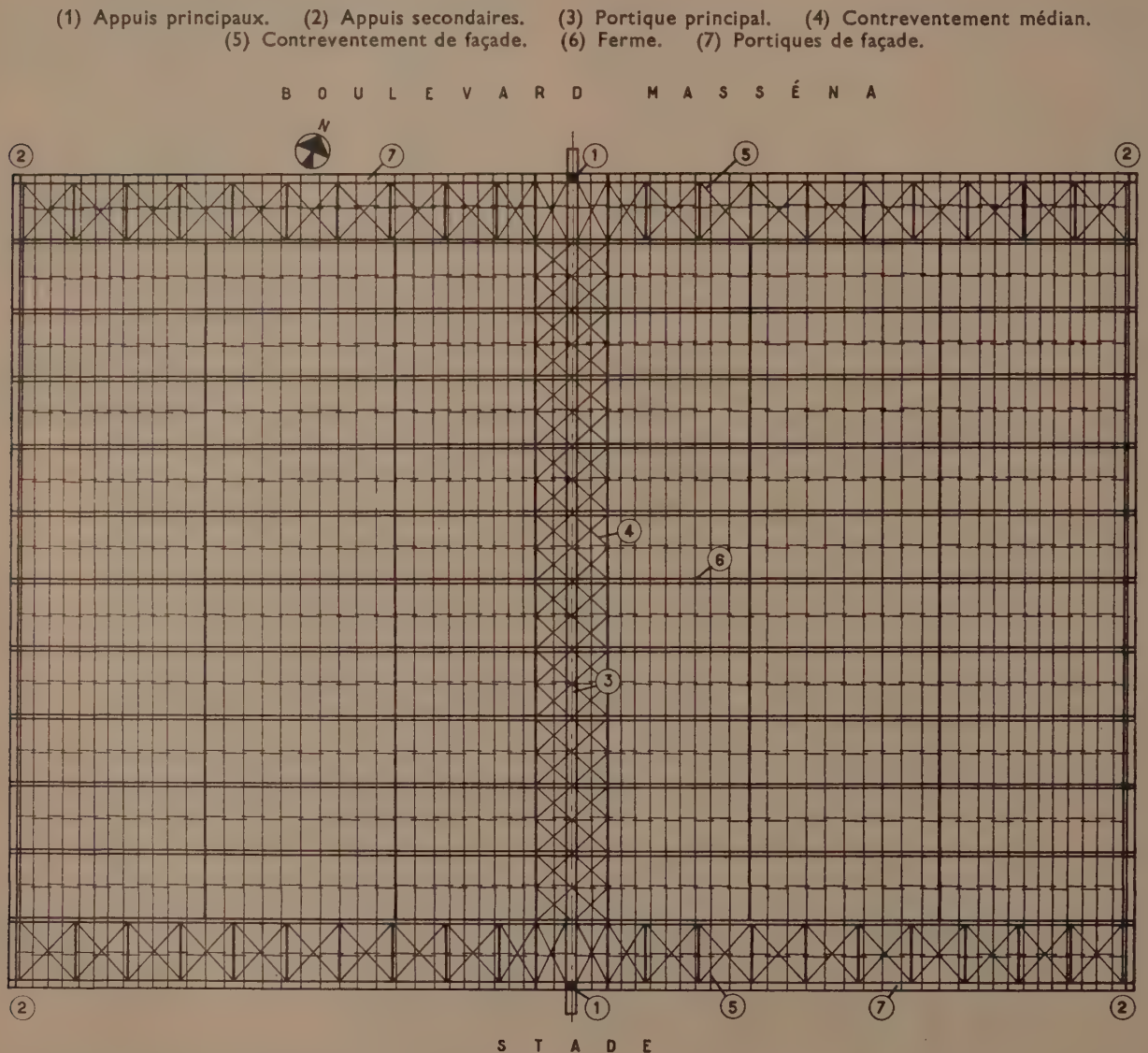


FIG. 1. — Plan schématique d'ensemble de l'ossature.

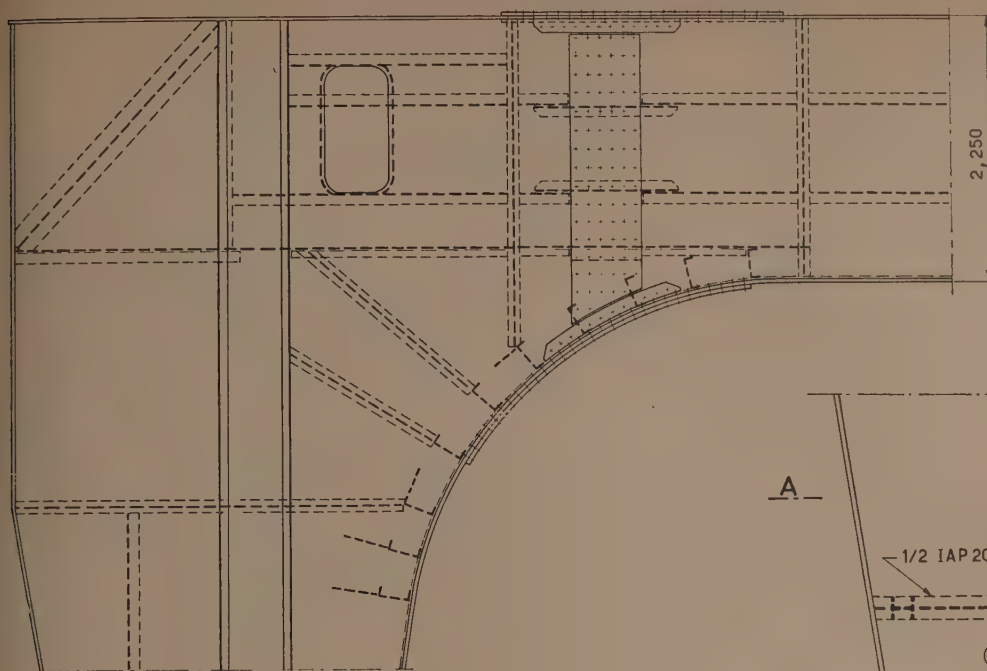


FIG. 2. — Angle supérieur du portique.

De manière analogue, les poutres au vent en toiture sur pignons reporteront le maximum de charges horizontales, dues au vent nord-sud, sur le portique central, et deux réactions mineures sur les longs pans.

Les réactions maximales ainsi obtenues ont les valeurs suivantes :

	Réaction verticale maximale	Réaction horizontale maximale (poussée nord-sud.)
sur chacun des appuis principaux	250 t	146 t
sur chacun des quatre appuis d'angle	20 t	5 t

Les efforts dus au vent est-ouest, sont reportés par une poutre centrale en toiture sur les pignons où les fermes constituent des portiques doubles dont le pilier central est commun avec le portique principal.

La couverture en plaques ondulées de fibrociment et polyester, est supportée par les pannelettes classiques. On notera en passant l'importance des versants et la faible pente, qui obligeront le couvreur à des précautions spéciales d'étanchéité. Celles des pannelettes qui constituent les membrures de la poutre au vent centrale sont renforcées à cet effet.

Détails des éléments principaux de l'ossature.

Le portique (fig. 2-3-4-5) présente une section caisson rectangulaire à deux âmes pleines de 10 mm, et semelles de 25 mm. Les raidisseurs, tous intérieurs au caisson, ont été étudiés avec soin, en raison du faible rapport de

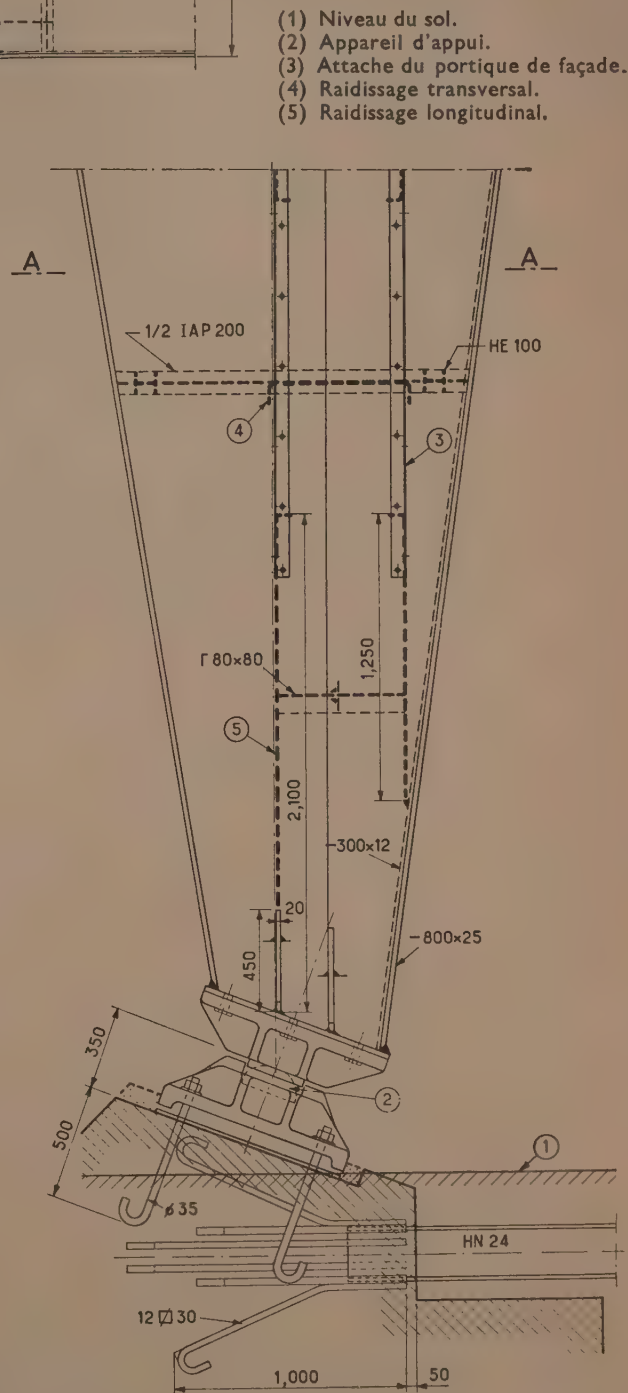
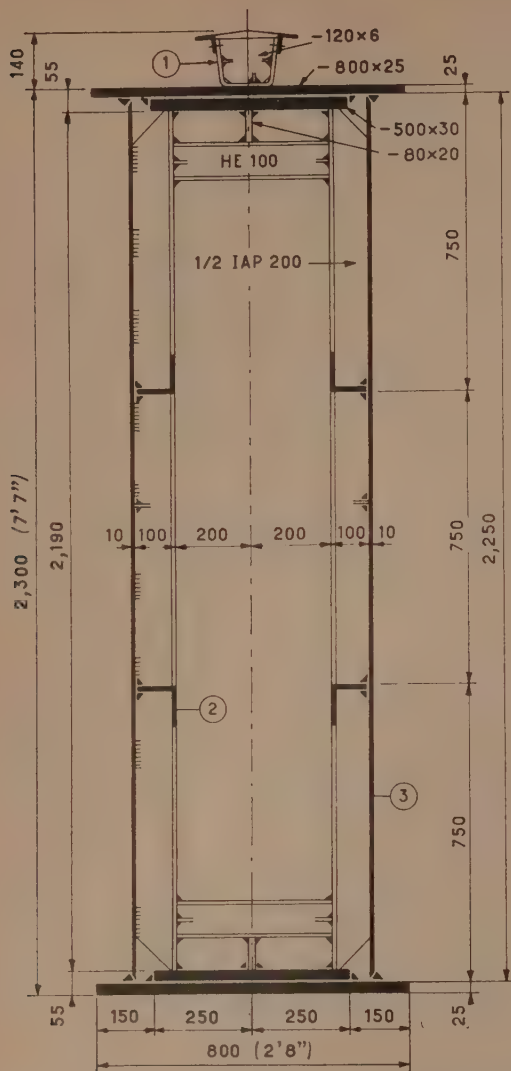


FIG. 3. — Piédroit du portique.



(1) Support de pannelette faîtière. (2) Raidissage intérieur.
(3) Ame en tôle de 2,250 × 10 mm.

FIG. 4. — Coupe transversale de la traverse du portique.

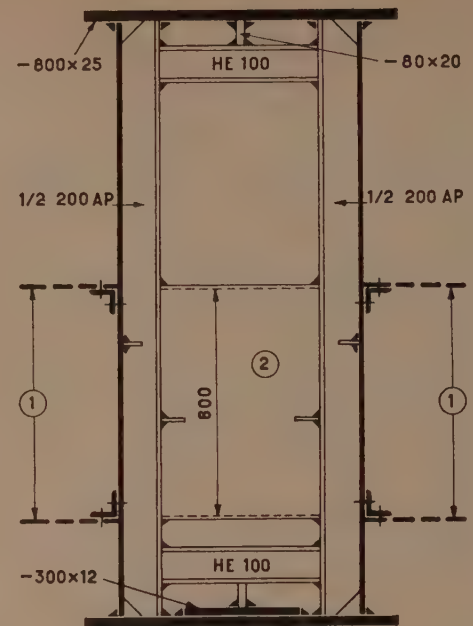
l'épaisseur des âmes à leur hauteur. La figure 3 montre les précautions spéciales prises pour éviter les soudures transversales dans les semelles tendues.

L'importance de la section permet la circulation à l'intérieur du portique, qui pourra être mise à profit pour l'entretien et l'installation du câblage électrique. L'accès est permis à une extrémité par une ouverture que l'on aperçoit sur les figures 5 et 6.

Les tronçons de portique, entièrement soudés en atelier, ont été assemblés au chantier par joints boulonnés, à boulons tournés plein trous.

Les appuis sont des rotules en acier moulé électrique, permettant les rotations sans transmission de moments aux fondations, dans toutes les directions (fig. 7).

Le portique a été calculé dans l'hypothèse d'appuis fixes, les massifs de fondation ayant été conçus pour



(1) Portique de façade.
(2) Diaphragmes intérieurs en tôle pliée.

FIG. 5. — Coupe horizontale d'un piédroit de portique.



FIG. 6. — Piédroit du portique principal.



(Photo Agence Rapho).

FIG. 8. — Appuis des fermes sur le portique central.



FIG. 7. — Appareil d'appui.

transmettre au sol les poussées maximales ainsi obtenues. On a décidé néanmoins par sécurité, de relier ces massifs par un tirant métallique. L'importance de l'allongement du tirant, comparativement aux déplacements des massifs, le rend inutile dans les conditions normales. On a pensé à lui rendre une utilité immédiate en lui imposant une pré-tension. Cet effort de tension, de signe opposé aux poussées sur appuis dues aux charges verticales, permet d'équilibrer les valeurs absolues des réactions horizontales. Ce résultat a été obtenu très simplement en utilisant la dilatation thermique de l'acier du tirant. On l'a chauffé avant la réalisation du dernier joint, de manière à obtenir une dilatation de 15 mm, correspondant à un effort de tension interne de 60 t après refroidissement (le tirant est ensuite enterré dans un caniveau où sa température est relativement constante). L'élévation de température moyenne nécessaire était de 20°.

Les *fermes* ont une section en I soudée, âme de 6 mm et semelles de 300×14 avec raidisseurs d'âme soudés. Leur faible rapport hauteur-portée (1 m pour 41,50 m) a été rendu possible par la continuité assurée sur l'appui central (voir fig. 8-9). Elles sont entretoisées par des poutres verticales en treillis en croix de Saint-André,



(Photo Agence Rapho).

FIG. 9. — Pose des goussets de continuité des fermes.

que l'on aperçoit sur la figure 10. Ce sont les seuls éléments en treillis de l'ouvrage. Les extrémités des fermes sont tubulaires pour permettre le passage des descentes d'eau pluviale (fig. 14).

Les portiques de façades (fig. 11 et 12) sont constitués par une âme en tôle pleine de 7 mm d'épaisseur, de hauteur variable, et de semelles en larges-plats déportés à l'intérieur, le bord libre raidi par une cornière.

Les pieds-droits furent soudés au chantier sur ceux du portique principal (fig. 6) ; le pilier ainsi constitué présente une section en croix latine. Les joints, qui auraient été visibles de l'extérieur, ont été soudés en position.

Les façades sont organisées de manière à laisser apparaître à l'extérieur la seule ossature verticale (les potelets des façades et pignons). Le bardage est réalisé en briques sur les longs pans et en plaques ondulées de polyester translucide sur les pignons. En raison de la souplesse de l'ossature, les potelets de longs pans étant articulés en tête et au pied, on a désolidarisé les pans de fer des longrines de fondations, en les suspendant aux sablières (fig. 13 et 14). Les potelets des pignons sont appuyés sur la membrure inférieure des portiques, de manière à ne pouvoir supporter les charges verticales de ce portique pendant sa flexion. Les efforts horizontaux sont repris par des fermettes triangulaires qui les reportent dans le plan du contreventement en toiture (fig. 11).

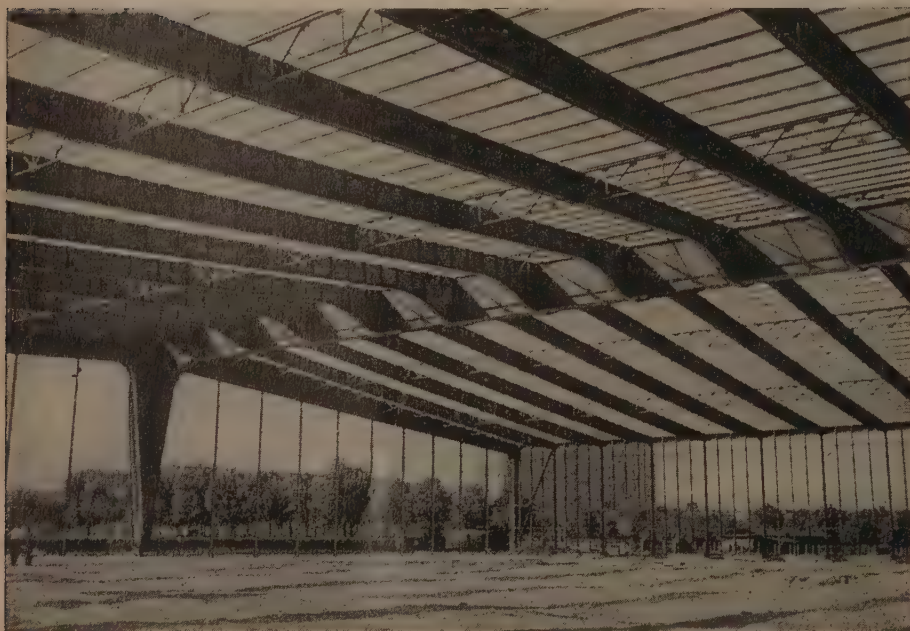


FIG. 10. — Vue d'ensemble. Portique principal, portique de façade et fermes.

Renseignements généraux.

Le poids total des charpentes est de 470 t. Le portique seul pèse 100 t (dont 2,5 t d'appareils d'appuis en acier moulé).

Les aciers employés sont du Thomas ordinaire et du Thomas soudable.

La fabrication a utilisé au maximum les procédés automatiques, tant pour le découpage à l'aide d'appareil à trois pyrotomes inclinables, roulant sur rails, que pour la soudure à deux appareils Unionmelt. Toutes les soudures de résistance ont été contrôlées en atelier par essais radiographiques et macrographiques. Des essais destructifs sur éprouvettes ont été d'autre part, effectués pour déterminer le meilleur procédé à utiliser dans chaque cas.

Le travail de fabrication s'est trouvé compliqué du fait que les délais de livraison et ceux d'approvisionnement de tôles, ont souvent empêché la présentation en atelier des différents éléments; la préparation des joints à réaliser sur place a été faite à l'aide de mannequins, mais avec un soin tel, qu'aucune retouche ne s'est avérée nécessaire au montage.



FIG. 11. — Vue intérieure de la façade, côté Masséna.

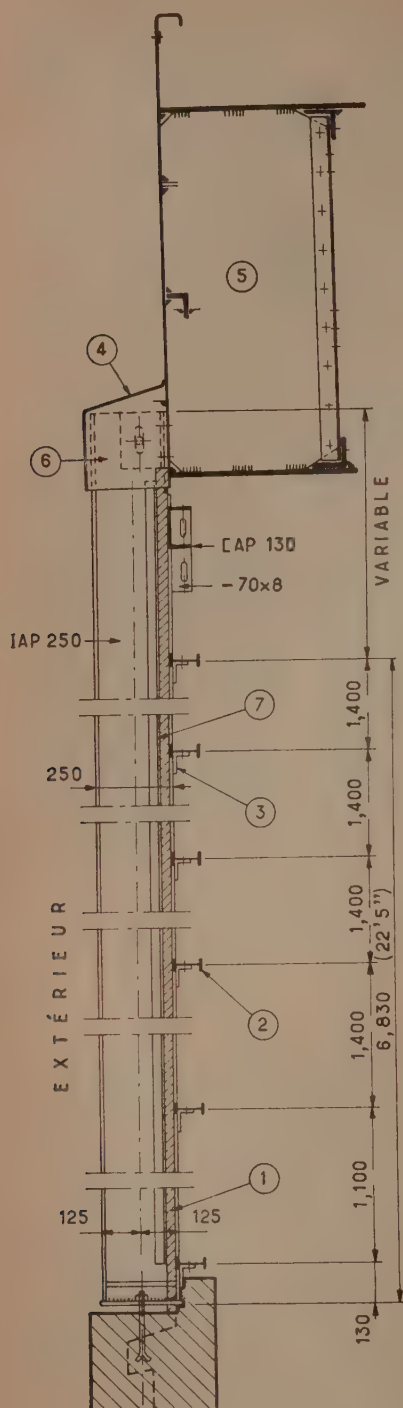


FIG. 12. — Vue extérieure de la charpente, côté stade.

Conclusion.

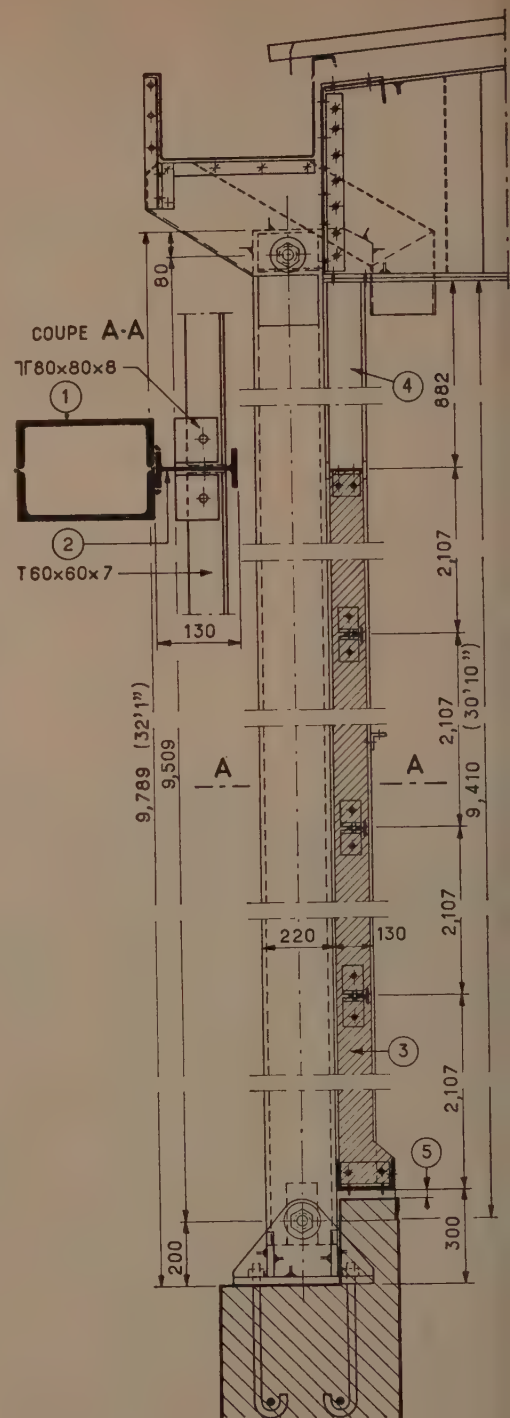
Je ne saurais terminer cet exposé, sans souligner la différence profonde entre un ouvrage de ce type, étudié au demeurant avec un souci réel d'économie, et ce qu'on est convenu d'appeler la charpente courante. Si, grâce à de telles réalisations, la réputation de laideur qu'on avait faite à la charpente métallique tend heureusement à disparaître, c'est sans doute en premier lieu que les techniques nouvelles (la soudure en particulier) ont permis une favorable épuration des lignes ; c'est aussi que des architectes de plus en plus nombreux, à l'instar de M. Maigrot qui doit en être ici remercié, comprenant les possibilités offertes par ce matériau noble, et consentant à rompre avec les habitudes d'écoles, repensent leurs problèmes en acier, mais c'est enfin qu'un certain nombre de constructeurs a consenti l'effort nécessaire d'équipement en machines et en techniciens pour produire une charpente de qualité.

On a pris l'habitude, ces dernières années, quand il s'agit de construction, de mettre l'accent sur la rapidité d'exécution et l'économie (deux impératifs qui n'ont pas été oubliés ici). Il est temps enfin de parler aussi qualité, qui est à la fois, ne l'oublions pas, esthétique et sécurité.



- (1) Bardage polyester.
- (2) Lisses horizontales en IPN intérieures.
- (3) Cornières supports de lisses.
- (4) Boîte en tôle pliée.
- (5) Section du portique de façade.
- (6) Dispositif d'appui des potelets (extérieur).
- (7) Feuilleure sur potelet.

FIG. 13. — Coupe verticale d'une façade pignon.



- (1) Potelet de façade.
- (2) Feuilleure recevant la brique.
- (3) Remplissage en brique.
- (4) Ouverture destinée à recevoir les châssis de persiennes.
- (5) Jeu séparant le long pan en briques de la longrine en béton armé.

FIG. 14. — Coupe verticale d'une façade long pan.

EXPOSÉ DE M. ANDROUAIS

Après l'exposé de mon collègue Fruitet sur l'étude et l'usinage des charpentes du Gymnase de la Porte de Choisy, je vais vous parler du montage de ces charpentes. Il n'échappe à personne que le portique central était la pièce la plus importante à mettre en place. Son levage fera donc l'objet principal de mon exposé.

Levage du portique central.

Le portique central reposant sur deux rotules, l'axe de ces rotules a été implanté par triangulation, le terrain, très bouleversé à l'époque du scellement des appuis des rotules ne se prêtait pas à un chaînage précis. Après montage, il a été constaté que les entraxes des cuvettes de rotules différaient de 2 mm de l'entraxe des rotules des pieds de poteaux du portique, ce qui donne un rapport erreur sur distance de 1/30 000.

Le projet initial de montage prévoyait la mise en place du portique central de la façon suivante (fig. 1) :

Les deux béquilles étaient tout d'abord montées sur leurs rotules. Elles étaient maintenues chacune par quatre haubans sur treuils qui permettaient de les déplacer en plan dans toutes les directions. La poutre centrale était assemblée sur calages, puis levée au moyen de deux mâts à l'aplomb de son emplacement définitif. Quand la poutre était levée à hauteur des béquilles, ces dernières étaient emboîtées sur la poutre en manœuvrant les treuils de haubanage des béquilles.

Cette façon de procéder avait l'avantage de ne pas nécessiter un matériel supplémentaire, elle n'imposait pas comme la méthode utilisée, le respect d'un programme très tendu puisque une journée pouvait être consacrée à la mise en place de chaque béquille si

c'était nécessaire. De plus elle présentait une sécurité supérieure à la méthode employée.

Le client nous avait imposé un programme de montage ne dépassant pas deux mois; sur ce délai déjà bref, deux semaines ont été perdues à cause d'un retard dans la fourniture des tôles servant à la construction des béquilles.

Les trois éléments de la poutre du portique central ont été livrés entre le 15 et le 20 juin alors que les béquilles sont parvenues au chantier les 29 juin et le 1^{er} juillet.

En vue de gagner du temps, l'ordre de montage a été inversé (fig. 2), la poutre d'un poids de 60 t, et longue de 55 m, a été levée en premier lieu. Cette opération effectuée à l'aide de deux mâts et de treuils de 20 ch, a duré une heure.

Après ce levage, les grues ont pu circuler facilement sur l'ensemble du chantier, ce qui donnait une grande facilité aux manœuvres nécessaires à la mise en place à champ des béquilles, pesant 20 t pièce, à l'aplomb des rotules.

Une grue mobile de puissance 20 t a levé chaque béquille par la tête et l'a posée sur son socle. L'opération la plus longue a été celle de l'approche du joint béquille-poutre. Une grue de puissance 10 t soulageait la béquille par l'arrière tout en la guidant, pendant que deux haubans sur treuils la maintenaient dans l'axe de la poutre. En manœuvrant ces deux haubans et en faisant varier l'altitude de la poutre principale, l'accostage précis a été réalisé, ce qui a permis de mettre en place les couvre-joints liaisonnant la poutre à la béquille. Je crois bon de signaler que chaque joint de poutre a nécessité la pose de 480 boulons. Je mentirais en disant qu'ils ont tous été posés au moment de l'assemblage mais il en a été cependant mis en place une centaine par joint de poutre.

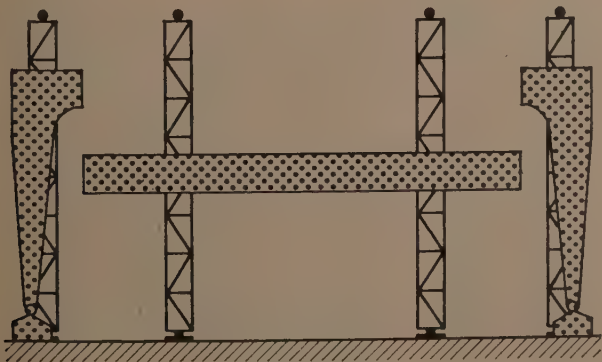


FIG. 1

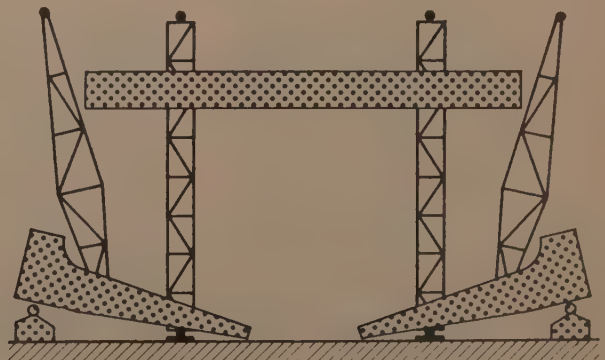


FIG. 2



FIG. 3. — Poutre du portique de 60 m assemblée à terre.

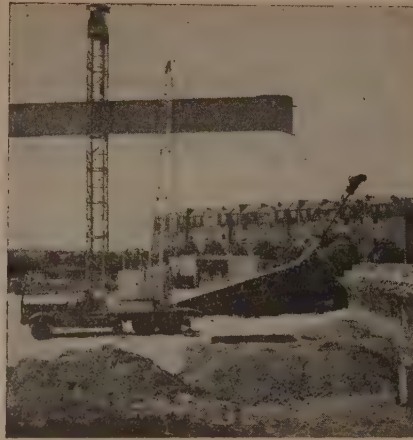


FIG. 4. — Poutre du portique de 60 m levée. Béquille prête au levage.

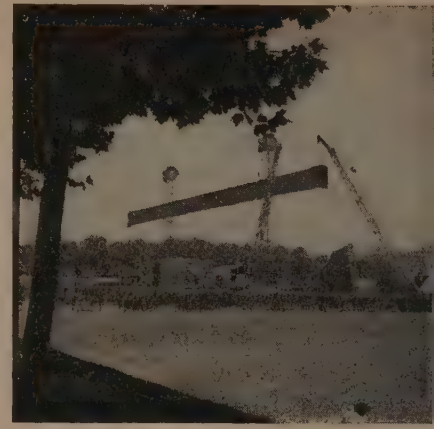


FIG. 5. — Début du levage d'une béquille du portique central.

A titre indicatif : le poids du couvre-joint inférieur était de 400 kg (fig. 3-4-5-6-7-8-9-10).

Le levage du portique a été fait le 3 juillet, les opérations ont commencé à 7 h du matin et des monteurs serraient encore quelques boulons à 23 h à la lueur des phares de deux grues. Cette longue journée s'est heureusement écoulée sans incidents, ni accidents, mais si le procédé de montage employé a été plus spectaculaire que celui prévu, il comportait le risque de travaux de nuit car il était impossible de laisser la poutre pendue aux mâts et il multipliait les chances d'accidents corporels souvent consécutifs à une grande fatigue ce qui était l'état général de tous les monteurs ayant participé à ce travail.

Ainsi que vous le remarquerez, la béquille du demi portique de façade a été solidarisée à la béquille du portique central par deux soudures montantes continues. La béquille formant angle du bâtiment a été mise en place et maintenue par quatre haubans.

Les poutres des deux portiques, longues de 38 m et

d'un poids unitaire de 8 t ont été livrées en deux tronçons et assemblées à terre par soudure. La difficulté dans la mise en place ne résidait ni dans leur poids, ni dans leur longueur, mais dans leur absence de rigidité puisqu'elles n'étaient constituées que par des tôles pliées raidies de place en place, leur rigidité finale n'était donnée que par les contreventements de façade, constitués par une poutre à treillis horizontale régnant entre les poutres et la demi-ferme adjacente.

Ces poutres ont été montées à l'aide de deux grues mobiles et un mât auxiliaire les a empêché de se déverser jusqu'au moment où des entretoises les ont solidarisées aux demi-fermes voisines.

Les joints poutre-béquilles ont été soudés pendant que la poutre était soutenue par le mât.

Demi-fermes, contreventements, pannes.

Les demi-fermes d'un poids unitaire de 6 t et longues de 41 m, étaient livrées en trois tronçons. Elles ont été assemblées à champ à terre, puis levées au moyen de

FIG. 6. — Levage d'une béquille du portique central.

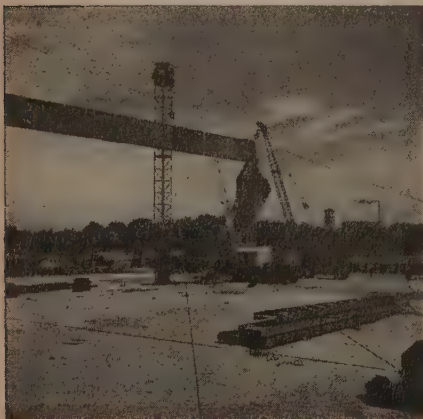


FIG. 7. — Levage d'une béquille du portique central.



FIG. 8. — Levage d'une béquille du portique central.





FIG. 9. — Levage d'une béquille du portique central.



FIG. 10. — Levage d'une béquille du portique central.



FIG. 11. — Mise en place des demi-fermes de 41 m

deux grues mobiles. Le poteau articulé était mis préalablement en place et maintenu vertical par trois haubans. La demi-ferme était rendue solidaire de la tête du poteau par l'axe d'articulation. Elle était ensuite assemblée sur l'âme de la poutre du portique central par trente-deux boulons.

Les cornières formant poutres au vent ont été assem-

blées à terre par panneaux correspondant à l'entre-axe. Ces panneaux ont été levés à la grue.

Les pannes étaient réunies en fagots de six. Une grue les déposait sur les demi-fermes. Les monteurs n'avaient qu'à les faire glisser à leur emplacement définitif.

Le levage de la première pièce a eu lieu le 3 juillet et l'ensemble de l'ossature du gymnase était monté et

FIG. 12 et 13. — Assemblage par soudure d'une béquille du demi-portique de façade sur le portique central.



réglé le 15 août. Près de 470 t de charpentes avaient été mises en place en trente-cinq journées de travail, par une équipe de dix monteurs, y compris les chefs et conducteurs d'engins, disposant de deux mâts avec treuils électriques capables de lever 80 t chacun, et de deux grues mobiles de 10 t. Une troisième grue de 20 t, avait été utilisée le 3 juillet 1959 pour le levage des béquilles du portique central.

Ce chantier a démontré que les travaux de montage de charpente métallique nécessitent des équipes peu nombreuses, mais bien entraînées, un matériel parfaitement adapté au type d'ouvrage à édifier, une étude poussée des travaux de chantier, le respect d'un planning très détaillé établi en fonction des moyens de réalisation.

Nous avons pu au gymnase de la Porte de Choisy,

réunir ces conditions grâce à l'esprit d'équipe qui a régné sur le chantier et à la qualité du matériel de levage qui a donné entièrement satisfaction.

Le montage s'est exécuté à la cadence moyenne de sept heures et demie à la tonne. Les travaux d'installation et de repliement du chantier ramenés à la tonne de charpente métallique ont demandé deux heures un quart.

La charpente métallique commandée le 1^{er} décembre 1958 a été livrée au client montée, prête à recevoir le bardage et la couverture le 15 août 1959.

Il est presque certain qu'une construction en béton armé, de même superficie sans appuis, aurait nécessité un délai de construction plus long.

CONCLUSION DU PRÉSIDENT

Je remercie les orateurs de leurs intéressantes présentations. M. Maigrot vous disait qu'en employant le métal, il avait voulu éviter l'inconvénient des vides qui donnent habituellement quelque maigreur aux poutres en treillis. C'est précisément le reproche qu'Edmond de Goncourt adressait à la Tour Eiffel au lendemain de sa construction, et je me souviens d'une réflexion que me faisait un jour Auguste Perret; du haut de sa maison de la rue Raynouard, nous regardions la Tour et il déclara soudain : « il aurait fallu garnir, renforcer, nourrir les arêtes pour déterminer de belles lignes pleines qui seraient montées de la base au sommet ». M. Maigrot, en bon architecte, a su concilier les pleins et les vides.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

(Reproduction interdite.)

Série : THÉORIES ET MÉTHODES DE CALCUL (40)

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 2 FÉVRIER 1960

SOUS LA PRÉSIDENTE DE **L'HERMINIER**,
 sous-Directeur du Centre Expérimental de Recherches
 et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics

UTILISATION DES MACHINES A CALCULER ÉLECTRONIQUES POUR LES PROBLÈMES DE LA CONSTRUCTION

par **M. TOURNYOL DU CLOS**,

Chef de la Section de calcul au Centre Expérimental de Recherches
 et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics

RÉSUMÉ

Cette publication a pour but de donner un aperçu de l'utilisation des calculateurs électroniques dans les problèmes de la construction.

Après avoir fait une rapide description des machines à cartes perforées, des calculateurs à cartes perforées et des calculateurs à programme enregistré, l'auteur précise les besoins des utilisateurs et donne les caractéristiques de quelques calculateurs actuels; il passe ensuite brièvement sur les méthodes de calcul : systèmes linéaires, équations différentielles, équations aux dérivées partielles.

Une seconde partie est consacrée aux applications professionnelles et techniques, ce qui amène à passer en revue les utilisations possibles des calculateurs dans ces domaines : calcul de structures planes réticulées, de cadres rectangulaires, de mètres de terrassements, de barrages voûtes, de poutres continues, de ponts dalles biais, de stabilité des talus des barrages en terre, et à parler de la recherche opérationnelle, des statistiques ainsi que de la comptabilité des chantiers.

L'auteur précise ensuite les servitudes inhérentes, coût des études préliminaires, établissement des programmes de calcul, mise au point, et conclut en donnant quelques détails sur les conditions d'exploitation.

SUMMARY

This publication is intended to provide a survey of the use of electronic computers in the problems of construction.

After having given a brief description of punched card machines, punched card computers and programming computers, the author specifies the needs of users, gives the characteristics of some present-day computers, and then deals briefly with methods of calculation: linear systems, differential equations, equations with partial derivatives.

A second part is devoted to professional and technical applications, which entails passing in review the possible uses of computers in these fields: calculation of reticulated plane structures, of rectangular frames, earthwork estimation, design of arch dams, of continuous beams, of skew slab bridges, study of the stability of earth dam embankments, and in the field of operational research, statistics as well as job-side accountancy.

The author also describes the inherent limitations, the cost of the preliminary studies, the establishment of programs of calculation, adjustment, and concludes by giving a few details on the conditions of operation.

AVANT-PROPOS DE M. R. L'HERMITE

J'aurais été très heureux de présider la conférence de ce soir car c'est sur ma proposition qu'elle a été inscrite au programme. Mais je dois assister à la même heure au Comité d'Études « Documentation » auprès de la Délégation Générale à la Recherche. Puisque j'en ai été élu Vice-Président et que c'est aujourd'hui sa première réunion de travail, il m'est impossible de manquer à mes devoirs.

Je vous prie donc de bien vouloir recevoir mes excuses et je remercie M. L'Herminier d'avoir accepté de présider cette séance.

Si j'avais pu conserver l'honneur de présenter cette conférence, voici à peu près ce que j'aurais dit :

Depuis longtemps, au *Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics*, nous nous sommes intéressés au calcul sous tous ses aspects : le calcul statistique, le calcul analytique, le calcul arithmétique. Un ingénieur n'est pas toujours un bon calculateur ; les opérations que le calcul comporte sont longues et fastidieuses ; les ingénieurs ne sont pas des comptables. Un ingénieur n'est pas toujours un bon mathématicien ; les mathématiques sont une spécialité qu'il faut entretenir, perfectionner et la majorité n'a pas le temps ni le goût de le faire. Les mathématiciens évoluent très vite à notre époque ; les algèbres modernes, la théorie des groupes, les théories statistiques ont des applications de plus en plus fréquentes mais il faut être rompu à leur maniement pour en tirer profit.

Le chercheur ou l'ingénieur placés devant un problème difficile : une équation différentielle peu commune, une étude statistique embarrassante peuvent perdre beaucoup de temps à consulter des livres sans cependant être toujours certains d'être à la page.

C'est pourquoi au Laboratoire nous avons institué une Section de calcul et que nous en avons confié la direction à notre ami, Tournyol du Clos.

Celui-ci, qui fut longtemps Chef de la Section des essais de matériaux, est un excellent mathématicien, par goût et par culture. Son violon d'Ingres est devenu sa profession principale. Avoir su garder et entretenir ses connaissances à côté d'une fonction qui n'en demandait pas autant est un mérite et prouve des dispositions indéniables. En outre, le long séjour qu'il a fait dans un service d'activité purement expérimentale permet de supposer qu'il saura maintenir avec les réalités le contact nécessaire, qu'il ne se perdra pas dans l'abstraction, que les mathématiques qu'il connaît seront l'outil mais non le but de spéculations hors de propos avec nos métiers de constructeurs.

Notre nouvelle Section de calcul est donc ainsi inaugurée et, comme le sont tous les autres services du Laboratoire, elle est à votre disposition. Cette section doit d'abord être pour vous un conseil : comment traiter tel problème qui sort des limites de l'habituel ? La documentation que nous possédons est considérable, elle résulte de vingt-cinq ans de recherche attentive sur les procédés connus et publiés ; peu de bibliothèques au monde jouissent d'une telle collection ordonnée suivant des règles précises de classification. Tel problème a pu déjà être résolu ; nous sommes là pour vous le dire et vous aider à interpréter sa solution.

Il reste maintenant la question de calcul proprement dit, je veux évoquer ici le calcul automatique, les machines électroniques, les ordinatrices. C'est l'objet de cette conférence qui vous montre l'intérêt que nous portons à cette question. Faire l'acquisition d'une machine à calculer électronique est simple, il suffit de crédits et nos *Fédérations du Bâtiment et des Travaux Publics* qui en ont compris l'intérêt n'ont jamais pensé à les refuser. Cependant la machine électronique est un instrument précis, rapide certes, mais qu'il faut commander. C'est un corps sans âme : la conscience lui est donnée par l'homme qui la commande et qui en transcrit les résultats.

Sans vouloir nous étendre sur des considérations philosophiques, nous dirons que la machine ne peut être utilisée sans un programme, procédé mathématique qui traduit dans son langage les données d'une opération et la manière dont elle doit la traiter. Or ceci est, pour la plupart des cas, le travail le plus important et le plus long qui rend indispensable la connaissance approfondie du mécanisme, des possibilités et des limites de l'outil en question.

Acquérir une ordinatrice et rester devant comme « une poule qui a trouvé un fauteuil », si l'on veut me pardonner cette expression, est d'une banale inutilité. C'est ce qui nous a fait penser que dans notre Institut il est préférable, pour commencer, de chercher à codifier les problèmes par l'usage et de les traiter pour l'instant sur les machines classiques auxquelles nous avons accès. Quelques heures par semaine suffisent à absorber le travail préparatoire de quelques ingénieurs. Plus tard, probablement, aurons-nous à effectuer nous-mêmes, à domicile, le travail complet, mais nous hésitons encore devant telle ou telle machine et devant leur évolution permanente pour prendre une décision qui paraît, pour l'instant en tout cas, prématurée.

C'est pourquoi je vous demande aujourd'hui de soumettre à notre Section de calcul les questions qui vous embarrassent. Nous jugerons avec vous de l'efficacité des moyens que nous vous proposons et nous pourrions, peut-être, tracer des programmes communs pour lesquels, à l'usage, nous obtiendrions un prix et une efficacité meilleurs que ceux d'un simple travail de bureau avec ses aléas et ses incertitudes. Vous verrez que dans certains cas ce résultat a déjà été obtenu. M. Tournyol du Clos va vous le montrer.

Avant de lui passer la parole, je tiens à remercier M. Raoul Pascal des excellents conseils qu'il a bien voulu nous donner et qui nous ont été très utiles dans la préparation de cet exposé.

Je passe la parole à M. Tournyol.

EXPOSÉ DE M. TOURNYOL DU CLOS

AVANT-PROPOS

L'utilisation des machines à calculer électroniques pour les problèmes de la construction constitue un sujet très vaste qu'il convient de bien délimiter dès le départ. Nous croyons donc utile d'esquisser rapidement le plan adopté.

Après une brève description des machines et des calculateurs à cartes perforées nous examinerons rapidement le développement des calculateurs à programme enregistré compte tenu des besoins des utilisateurs. Une courte revue des méthodes de calcul permettra alors de présenter quelques applications professionnelles types : calculs de struc-

tures réticulées, de barrages en terre et de ponts biais. Nous mentionnerons au passage les calculs mis au point sur les machines disponibles en France donc susceptibles d'une utilisation immédiate par chacun. Après un tour d'horizon des applications à la recherche opérationnelle, la statistique et la comptabilité nous croyons enfin nécessaire d'exposer nettement les servitudes et les conditions d'exploitation des calculateurs. Nous ne parlerons pas des machines analogiques. Avant de commencer il est toutefois utile de préciser quelques points de vocabulaire pour éviter tout risque de malentendu.

CHAPITRE PREMIER

INTRODUCTION. — GÉNÉRALITÉS SUR LES CALCULATEURS

I. Vocabulaire.

Nous appellerons « programme » la série d'instructions destinée à la résolution d'un problème donné. Programme a hélas donné naissance à l'affreux néologisme « programmer » et il nous arrivera de l'employer. Nous vous prions de nous en excuser à l'avance. Le terme général d'information s'applique à toute donnée numérique ou alphabétique. Ce peut être un résultat de mesure, un numéro de sécurité sociale ou un nom propre par exemple. Si cette information comporte des lettres aussi bien que des nombres elle sera dite alphanumérique et le même adjectif qualifiera la machine qui peut également traiter des lettres.

L'« adresse » est l'emplacement où se trouve l'opérande ou l'instruction suivante. La « mémoire » joue un rôle tout à fait analogue à la feuille de papier du calculateur qui note des résultats intermédiaires et il n'y a pas somme toute pour l'utilisateur à se préoccuper beaucoup de sa réalisation physique.

Le « mot » est soit un nombre soit une instruction. Les machines peuvent d'autre part avoir un fonctionnement interne basé sur la numération binaire ou sur la numération décimale. De toute façon l'utilisateur continue à employer comme tout le monde le système décimal.

Les nombres peuvent de plus être représentés en virgule fixe c'est-à-dire toujours ramenés à l'intervalle $(-1, +1)$ ou sous une forme semi logarithmique très commode. Cette dernière forme appelée virgule flottante consiste à représenter les nombres comme le produit d'un nombre compris entre -1 et $+1$ et de l'exposant de 10 qui fixe la position de la virgule. On écrit alors les chiffres significatifs et l'exposant dans un ordre invariable pour une machine donnée.

II. Machines à cartes perforées.

Les machines à cartes perforées réalisées à la fin du XIX^e siècle par l'Américain Hollerith sont largement répandues en France depuis 1935 environ. Constamment perfectionnées depuis leur apparition, elles offrent à l'heure actuelle de grandes possibilités par l'association de machines spécialisées.

Si l'on met à part la perforatrice et la vérificatrice, les principales sont :

- la *Tabulatrice*, qui lit des données alphanumériques, additionne, soustrait et imprime.
- la *Calculatrice*, qui lit des données numériques, effectue les quatre opérations et perfore données et résultats.
- la *Trieuse*, qui ordonne ou choisit des informations codées dans les cartes sans pouvoir séparer les informations portées par chaque carte.
- l'*Interclasseuse*, qui sépare ou regroupe des cartes en fonction des informations qu'elles portent.
- la *Reproductrice*, qui seule peut séparer les informations alphanumériques portées par une carte ou les regrouper avec celles de quelques cartes.

La limitation des possibilités des machines à cartes perforées tient :

- au faible nombre des mémoires permettant de conserver avant réemploi les résultats intermédiaires.
- au nombre forcément réduit de connexions modifiables qui servent à « afficher » le programme, même par l'adjonction de commutateurs et l'emploi de perforations particulières.
- au volume de manipulations intermédiaires pour un travail un peu complexe.

III. Calculateurs à cartes perforées.

Les possibilités de calcul ont été considérablement augmentées par le groupement d'une tabulatrice et d'un calculateur électronique. Celui-ci peut comporter une mémoire rapide allant jusqu'à trente nombres de douze chiffres décimaux (Gamma Bull).

Ces calculateurs ont remporté un grand succès car ils permettent l'exécution de calculs comptables ou scientifiques nettement plus complexes, en partie par l'introduction par cartes du programme d'opérations.

L'apparition de calculateurs électroniques moyens puis de petits calculateurs dont les possibilités sont déjà considérables semblent, toutefois, devoir orienter leur avenir vers l'extension des applications de la mécanographie. C'est très probablement la réussite de ces calculateurs qui a permis le développement des calculateurs électroniques à programme enregistré.

IV. Calculateurs électroniques à programme enregistré.

Les calculateurs électroniques à programme enregistré ou calculateurs numériques automatiques sont essentiellement constitués de cinq sous-ensembles (fig. 1) qui ne sont d'ailleurs ni indépendants ni même totalement distincts. Cette division correspond donc beaucoup plus à une commodité d'expression qu'à une réalité physique.

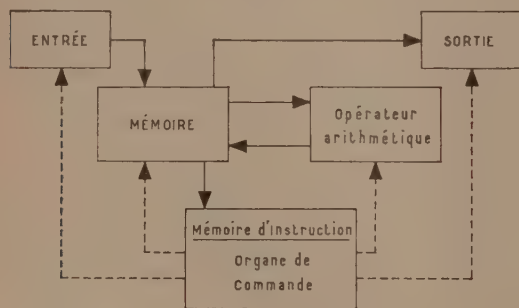


FIG. 1. — Organisation générale d'une calculatrice numérique automatique (d'après P. Naslin, Principes des calculatrices numériques automatiques-Dunod)

Nous emprunterons à M. Sestier [11]* l'analyse très claire qu'il a faite de ces cinq fonctions.

Fonction Entrée : elle consiste à lire, interpréter et ranger des informations codées, destinées à être traitées.

Fonction Sortie : elle joue un rôle symétrique.

Fonction Mémoire : elle consiste à recevoir des informations (nombres ou instructions), à les conserver en permettant leur identification et à les réémettre vers d'autres organes.

Fonction Calcul : elle consiste à placer deux informations distinctes en provenance de la mémoire, à exécuter sur elles des opérations logiques ou arithmétiques et à transmettre le résultat à un organe désigné.

Fonction Commande : elle consiste à :

- reconnaître l'exécution de l'ordre précédent;
- décider quelle est la prochaine instruction à exécuter;
- en déclencher la préparation puis l'exécution dont elle reconnaîtra l'achèvement.

Il n'entre pas dans notre propos de décrire les principes de conception et de réalisation de ces divers organes [1 à 11 bis]. Nous nous limiterons à une étude rapide des différentes fonctions au point de vue de l'utilisateur.

Le lecteur intéressé par cette question trouvera dans l'ouvrage déjà cité de M. Sestier une vaste synthèse appuyée sur une grande expérience [11].

V. Besoins des utilisateurs.

Si l'on met à part le Gamma 60 de Bull, très grand ensemble de traitement de l'information, aux possibilités pratiquement illimitées aussi bien dans le domaine scientifique que dans le domaine commercial, la plupart des machines disponibles actuellement en France sont surtout destinées à l'un ou l'autre de ces champs d'activité.

C'est ainsi que le 704 d'IBM est un calculateur scientifique alors que son jumeau le 705 est destiné à la gestion. Le même constructeur annonce également le 1620 scientifique en face du 1401 pour la gestion. La Société d'Electronique et d'Automatisme de son côté offre le CAB 3000 pour la gestion et les CAB 500 et CAB 5000 pour le calcul scientifique. Il est donc utile de préciser ce qui distingue ces applications au point de vue des calculateurs.

1° Calculs scientifiques et techniques.

La fonction calcul est ici capitale. En particulier elle doit offrir la possibilité (câblée ou enregistrée) de calculer en virgule flottante puisque le technicien ignore généralement l'ordre de grandeur des résultats partiels et souvent même celui des éléments de la solution.

La mémoire constitue le second impératif du calcul scientifique. C'est sa capacité qui limite généralement les possibilités d'une machine.

Les organes d'entrée et de sortie peuvent être relativement lents sans que cela constitue une gêne majeure.

Le fonctionnement interne de la machine peut enfin être binaire sans gêne appréciable pour l'utilisateur. L'économie réalisée sur le prix de revient des circuits permet d'ailleurs, la réalisation de machines binaires nettement plus puissantes à prix égal.

2° Calculs de gestion et comptabilité.

Le volume d'information à traiter exige une rapidité plus grande de tous les organes en particulier ceux d'entrée et sortie. La mémoire principale, d'accès rapide, doit être

* Les chiffres entre crochets reportent à la bibliographie.

vaste et les transferts entre mémoires auxiliaires et mémoire rapide doivent être aisés.

Les bandes magnétiques (Bull — IBM — SEA) permettent un archivage commode et une rapidité d'accès suffisante. Les disques (RAM — IBM) constituent également une solution très intéressante pour la comptabilité à mise à jour permanente.

Les possibilités de calcul peuvent être par contre plus rudimentaires. C'est ainsi que le 1401 d'IBM offrira la possibilité d'effectuer additions et soustractions dans toutes les positions de sa mémoire rapide mais ne comportera les circuits de multiplication et division, contre supplément de prix, que dans certaines de ses combinaisons de matériel. A l'exception des CAB 3000 de la SEA, tous les calculateurs français destinés à la gestion (IBM — Bull) sont décimaux et alphanumériques.

Les oppositions esquissées entre les divers besoins des utilisateurs ont été trop schématisées pour rendre compte des nuances que comporte toujours la réalité.

C'est ainsi que la commodité des transferts indispensable au comptable est fort appréciée du scientifique. Le même scientifique envie la longueur arbitraire des mots dont disposent le 705 IBM et le Gamma 3 Bull. Le 1620 d'IBM lui offrira cet avantage. Il est fort probable également que

pour les calculs de prévision par exemple le financier envie ou enviera la virgule flottante du technicien.

VI. Caractéristiques de quelques machines non spécialisées.

Pour terminer ce très bref tour d'horizon, nous pensons qu'un tableau des caractéristiques de quelques machines non spécialisées actuellement sur le marché français permettra de préciser ce qui n'a pu être développé.

Pour les très grands calculateurs (704 IBM, Gamma 60 Bull, CAB 3000 et 5000 SEA) il ne semble guère possible de les résumer dans des tableaux sans escamoter nombre de particularités souvent essentielles. C'est ainsi que le Gamma 60 peut grâce au Distributeur de programme traiter plusieurs problèmes dont certains non prioritaires « à temps perdu » grâce à une très large autonomie de ses différents organes.

Le nombre d'unités connectables, les extensions de mémoires possibles permettent d'ailleurs de réaliser avec les calculateurs cités des ensembles très différents avec les mêmes éléments de base.

La Société Intertechnique présente d'autre part le calculateur RW 300 qui quoique doté de possibilités de calculs

1°) — Petits calculateurs

Caractéristiques	Burroughs E 101	Royal Mac Bee LGP 30	IBM 610
Base de numération	décimale	binaire	décimale ou octale à volonté
Programme	affiché ou bande perforée	enregistré	par bande perforée et fonctionnement en machine de bureau
Instructions	une adresse virgule fixe	une adresse virgule fixe virgule flottante par programme de 640 mots	deux adresses — $\sqrt{\text{et } \frac{xy}{z}}$ virgule automatique et virgule fixe
Mémoire	220 mots (tambour magnétique)	4 096 mots (tambour magnétique)	84 mots (tambour magnétique)
Entrée	clavier de machine à calculer bande perforée cartes perforées	machine à écrire Flexowriter bande perforée	clavier bande perforée
Sortie	impression bande perforée	machine à écrire Flexowriter bande perforée	machine à écrire bande perforée

2°) — Calculateurs moyens

Caractéristiques	SEA CAB 500	Bull GAMMA 3 ET	IBM 650
Base de numération	binaire	décimale	décimale
Programme	enregistré	enregistré	enregistré
Instructions	deux adresses virgule fixe et flottante V, lignes trigonométriques et hyperboliques directes et inverses log, exponentielles addition et soustraction décimales	une adresse virgule fixe et flottante	une + une adresse virgule fixe et flottante
Mémoire	16 mots à accès direct 16 384 mots ⁽¹⁾ (tambour magnétique)	64 mots à accès direct 16 000 mots (tambour magnétique)	60 mots à accès direct 2 000 mots (tambour magnétique)
Mémoire auxiliaire	bande magnétique	six unités de bandes magnétiques	quatre unités de bandes magnétiques
Entrée	bande perforée machine à écrire Flexowriter	cartes perforées	cartes perforées
Sortie	bande perforée machine à écrire Flexowriter	cartes perforées tabulatrice	cartes perforées tabulatrice

⁽¹⁾ La moitié du tambour magnétique (8 192 mots) est normalement utilisée pour les ordres initiaux et les fonctions mathématiques usuelles mais peut être, en cas de besoin, partiellement ou entièrement libérée et employée à d'autres fins.

importantes avec un tambour magnétique de 4096 mots est surtout destiné à la commande centralisée des processus industriels grâce à ses 1 000 entrées et 500 sorties analogiques (fig. 2-3-4-5-6-7).

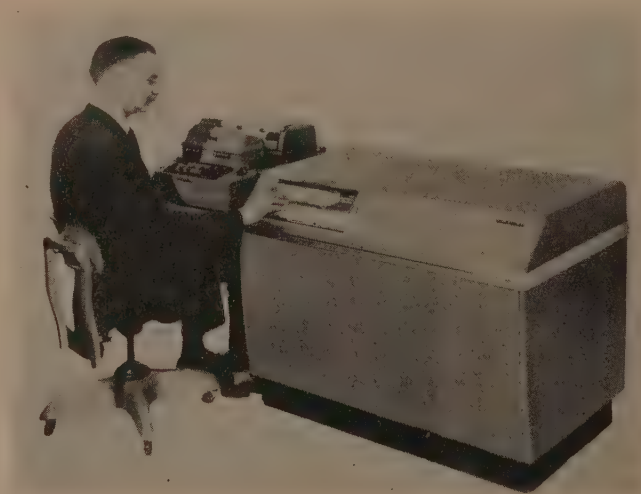


FIG. 2.
Calculateur L GP 30 de la Société Royal Mac Bee.

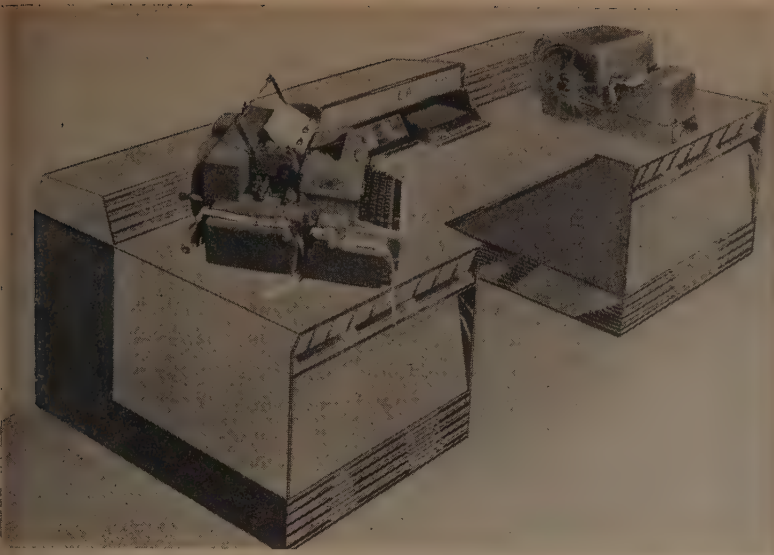


FIG. 3. — Calculatrice CAB 500 de la Société pour l'exploitation des procédés SEA.

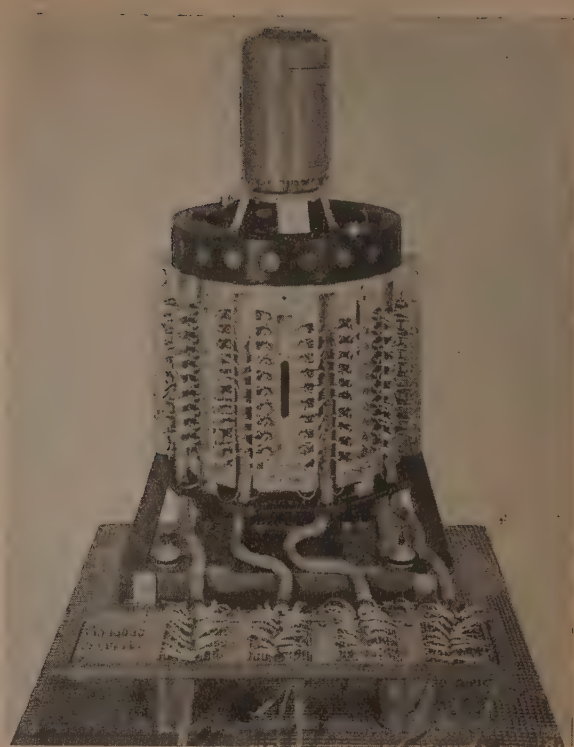


FIG. 6. — Calculateur Gamma 3 ET de la Compagnie des machines Bull tambour magnétique.



FIG. 4. — Calculateur Gamma 3 ET de la Compagnie des machines Bull.



FIG. 5. — Ordinateur 650 de la Compagnie IBM France.



(Photo Marc Monflier.)

FIG. 7. — Ordinateur 650 de la Compagnie IBM France. Pupitre de commande et tambour magnétique.

CHAPITRE II

MÉTHODES DE CALCUL

I. Généralités.

Les méthodes de calcul employées pour le calcul automatique ne présentent pas de différences fondamentales avec celles du calcul manuel.

Les méthodes classiques exposées très clairement par M. Robinson dans son cours au C. H. E. B. A. P. [36] et, pour l'intégration, par M. Courbon dans les *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics* [17] constituent donc l'élément de base du calcul automatique.

Les critères sur lesquels repose, dans un cas particulier, le choix d'une méthode sont toutefois légèrement différents.

En calcul automatique ce sont les méthodes directes, généralement les plus anciennes, qui sont les plus commodes. Les perfectionnements destinés à diminuer le nombre des opérations arithmétiques très utiles, en calcul manuel, peuvent être très difficiles à mettre en œuvre sur un calculateur.

Par exemple alors que presque sans y penser un homme choisit les deux nombres les plus petits dans une suite de nombres algébriques, ce simple choix nécessite toute une série d'instructions et de décisions logiques pour son exécution par une machine. C'est ainsi que la méthode de relaxation ne peut pratiquement pas être employée en calcul automatique en raison de la complexité de son organisation logique. On lui préfère actuellement la méthode itérative en prenant à chaque itération la totalité des points dans un ordre invariable. Divers perfectionnements ont été mis au point pour, dans certains cas, diminuer le nombre d'itérations par l'introduction de facteurs de « surrelaxation » et de schémas de calculs plus ou moins compliqués, mais, à ce jour, aucune machine n'a permis l'emploi pur et simple de la méthode originelle.

Le choix de la méthode de calcul présente souvent de sérieuses difficultés. De nombreuses méthodes sont en effet proposées, et d'emploi courant, sans que leur convergence ait jamais pu être mathématiquement démontrée. La multitude des méthodes et des perfectionnements imaginés pour un même problème montre d'ailleurs à l'évidence qu'aucune n'est universelle. Malheureusement on ne peut déterminer que très rarement *a priori* si une méthode convient ou non.

Un rapide tour d'horizon des méthodes usuelles nous semble intéressant pour chaque grand type de problème.

II. Systèmes linéaires.

L'importance des systèmes linéaires est considérable car ce sont pratiquement les seuls que les mathématiques actuelles sachent manier théoriquement avec quelque généralité.

C'est le domaine d'élection de l'algèbre et l'analyse matricielle [13]. La présentation matricielle a de très grands avantages car elle se prête bien à la systématisation en calcul automatique.

En particulier, la décomposition en sous matrices permet de substituer par exemple à :

$$Y = AX,$$

où A est une matrice et X, Y des vecteurs colonnes d'un espace fonctionnel linéaire quelconque, l'équation :

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & A_2 \\ A_3 & A_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix}.$$

Il est dès lors possible d'inverser le système par « parties » ou, en d'autres termes, de le résoudre par rapport à un sous ensemble des inconnues :

$$X_1 = (A_1 - A_2 A_4^{-1} A_3)^{-1} (Y_1 - A_2 A_4^{-1} Y_2).$$

Dans des opérations de ce genre, la formulation du problème est ainsi très aisée mais l'inversion proprement dite revient dans beaucoup de cas à l'application de la classique méthode d'élimination.

Malgré la très abondante littérature consacrée actuellement aux systèmes linéaires il n'y a encore aucune méthode universelle dès que l'ordre du système est élevé.

Quant aux problèmes de valeurs propres, leur résolution reste toujours délicate malgré les efforts considérables déployés.

III. Équations différentielles.

Dans un très grand nombre de cas on emploie la méthode de Runge Kutta [14] qui outre son excellente précision emploie la même série de formules pour tous les intervalles.

Une autre méthode d'emploi fréquent est celle de Milne [32] qui nécessite la détermination de quatre valeurs de départ.

La très grande diversité des équations différentielles rend souvent malaisée la recherche des solutions analytiques et les méthodes purement numériques sont assez souvent les seules utilisables.

IV. Équations aux dérivées partielles.

Les équations aux dérivées partielles dont les solutions analytiques ne peuvent être obtenues que dans des cas très particuliers et, même alors, au prix d'un travail considérable, constituent presque une « exclusivité » du calcul numérique automatique.

L'immense majorité des problèmes aux limites ou de valeur initiale est traitée par la classique méthode des différences finies; on est alors ramené à la solution d'un système linéaire. Les bornes de l'erreur et la convergence restent là encore souvent inconnues. La méthode de Rayleigh-Ritz constitue la seconde approche mais présente elle aussi de grandes difficultés la plupart du temps [16].

Une nouvelle voie remarquable semble devoir s'ouvrir avec l'emploi des méthodes abstraites de l'analyse fonctionnelle. Ces méthodes sont toutefois d'un maniement très délicat et trop récentes pour que leur domaine d'application soit suffisamment précisé pour l'utilisateur.

CHAPITRE III

APPLICATIONS PROFESSIONNELLES ET TECHNIQUES

I. Calcul des structures planes réticulées.

M. Livesley a publié [44] une méthode de calcul des systèmes réticulés de forme quelconque qui illustre remarquablement les possibilités et les limites des ordinateurs en cette matière. Les calculs ont été exécutés sur le calculateur de l'université de Manchester, machine puissante dotée de 512 mémoires rapides et d'un tambour magnétique de 30 000 mots.

Les structures étudiées sont composées d'éléments rectilignes de section uniforme, et les forces extérieures connues appliquées aux nœuds.

Rapportons l'ensemble de la structure à un système de coordonnées rectangulaires $ox' y'$.

Les forces F'_1 et F'_2 s'exerçant aux extrémités de l'élément peuvent s'exprimer par les équations suivantes, en notation matricielle :

$$\begin{aligned} F'_1 &= Y'_{11} D'_1 + Y'_{12} D'_2, \\ F'_2 &= Y'_{21} D'_1 + Y'_{22} D'_2. \end{aligned}$$

Les D' sont les vecteurs déplacement des extrémités :

$$D'_1 = \begin{bmatrix} x'_1 \\ y'_1 \\ \theta_1 \end{bmatrix}.$$

Les quatre matrices Y' sont les matrices de rigidité de chaque élément qu'elles caractérisent indépendamment de ses liaisons (mais non pas de son orientation par rapport aux axes).

$Y'_{12} = Y'_{21} = Y'_{22}$ ont des expressions analogues.

A est l'aire de la section droite, I son moment d'inertie, E le module d'élasticité, L la longueur de l'élément, α l'angle qu'il fait avec l'axe ox' . Les fonctions de stabilité φ sont voisines des fonctions $\varphi(u)$ et $\psi(u)$ de Timoshenko :

$$\varphi(u) = \frac{\varphi_4}{\varphi_5} \quad \psi(u) = \frac{\varphi_3}{\varphi_5}.$$

Écrivons (fig. 8) l'égalité des déplacements et la condition d'équilibre en un nœud :

$$\begin{aligned} (D'_2)_a &= (D'_1)_b = (D'_1)_c = \Delta_A, \\ (F'_2)_a + (F'_1)_b + (F'_1)_c &= \xi_A. \end{aligned}$$

Dans ces expressions on numérote arbitrairement 1 ou 2 les extrémités de chaque élément désigné par une lettre en indice.

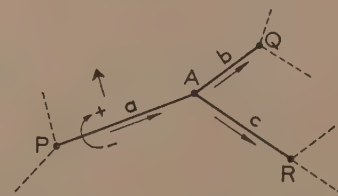


FIG. 8. — (d'après Livesley).

$$Y'_{11} = \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha \frac{EA}{L} + \sin^2 \alpha \frac{12 EI}{L^3} \varphi_5 & \sin \alpha \cos \alpha \left[\frac{EA}{L} - \frac{12 EI}{L^3} \varphi_5 \right] & - \sin \alpha \frac{6 EI}{L^2} \varphi_2 \\ \sin \alpha \cos \alpha \left[\frac{EA}{L} - \frac{12 EI}{L^3} \varphi_5 \right] & \sin^2 \alpha \frac{EA}{L} + \cos^2 \alpha \frac{12 EI}{L^3} \varphi_5 & \cos \alpha \frac{6 EI}{L^2} \varphi_2 \\ - \sin \alpha \frac{6 EI}{L^2} \varphi_2 & \cos \alpha \frac{6 EI}{L^2} \varphi_2 & 4 \frac{EI}{L} \varphi_3 \end{bmatrix}$$

La condition d'équilibre au nœud A est donc :

$$\xi_A = [(Y'_{22})_a + (Y'_{11})_b + (Y'_{11})_c] \Delta_A + (Y'_{21})_a \Delta_P + (Y'_{12})_b \Delta_Q + (Y'_{12})_c \Delta_R.$$

Sous forme symbolique on peut donc écrire

$$\xi = Y\Delta,$$

ξ est le vecteur des forces extérieures et Δ celui des déplacements.

$$\xi = \begin{bmatrix} \xi_A \\ \xi_B \\ \vdots \\ \xi_N \end{bmatrix} \quad \Delta = \begin{bmatrix} \Delta_A \\ \Delta_B \\ \vdots \\ \Delta_N \end{bmatrix}.$$

La matrice symétrique Y exprime les propriétés de la structure compte tenu des particularités de chaque élément et de l'ensemble des connexions. Pour un système comportant N nœuds elle représente un système de $3N$ équations linéaires.

Si l'on connaît les forces extérieures on calcule les déplacements par une méthode classique puis les contraintes.

Dans le cas général, on procède par approximations successives : la première approximation s'obtient en supposant nulles les contraintes axiales. Pour cela on donne la valeur 1 à toutes les fonctions φ de la matrice Y qui prend la valeur Y^0 .

La résolution du système $\xi = Y^0\Delta$ donne les déplacements puis les forces et les valeurs des fonctions de stabilité.

Chaque itération prend alors en compte comme données les résultats de la précédente $\xi = Y'\Delta$, etc...

La méthode converge très rapidement selon l'expérience de l'auteur.

Elle pourrait permettre au prix de quelques modifications la détermination de la charge critique ou, plus aisément la valeur du déterminant de la matrice positif en dessous de la charge critique.

La méthode de M. Livesley présente donc une grande généralité.

La difficulté principale provient de l'ordre des systèmes à résoudre. Il est en effet difficile de dépasser quarante équations linéaires.

On peut toutefois réduire l'ordre des matrices par décomposition en sous matrices.

Différentes commodités sont offertes au projeteur qui utilise le programme sur le calculateur de Manchester. Les caractéristiques des sections des éléments peuvent être choisies et modifiées par l'opérateur grâce à des tables enregistrées au préalable dans le tambour magnétique et ceci par un simple jeu de commutateurs. Des analyses rapides sont également prévues pour la mise au point. Une variante permet enfin d'imprimer les moments maximaux des éléments au lieu des déplacements. On voit quel souci a eu l'auteur des besoins du constructeur.

La Société Bull a mis au point sur son calculateur Gamma 3 ET la méthode de calcul de M. Livesley. Le

programme disponible est directement applicable jusqu'à vingt nœuds. Il ne détermine pas la charge critique. Des systèmes de plus grande importance peuvent toutefois être traités aisément grâce au Programme d'assemblage matriciel de la Société Bull.

II. Structures à trois dimensions.

Les problèmes à trois dimensions ne semblent pas avoir donné lieu jusqu'ici à l'établissement de programmes « universels » facilement utilisables sans de gros frais.

M. Clough a exposé à la Société des Ingénieurs Civils américains [42] une méthode matricielle utilisant le 701 IBM de l'université de Californie. Il s'agit d'un très gros calculateur muni d'une mémoire rapide de 4 096 mots, de quatre tambours et de quatre bandes magnétiques. Le programme original utilise la totalité de ces éléments et traite directement les opérations matricielles grâce à un sous-programme auxiliaire analogue au programme d'assemblage matriciel du Gamma Bull. C'est donc une méthode d'un maniement très aisé pour l'utilisateur, initialement limitée à des matrices d'ordre 41. L'auteur a ensuite étendu le programme par décomposition en sous matrices à des systèmes comportant jusqu'à 533 éléments et 205 charges extérieures. Il s'agit toutefois là très probablement d'une méthode onéreuse étant donné l'importance du calculateur employé.

Dans cet ordre d'idée MM. Namyet et Biggs [45] ont montré les économies réalisables dans des calculs de ce type.

Le calcul d'une antenne radar les conduisait à l'inversion d'une matrice d'ordre 300. Sur les 90 000 termes de cette matrice 7 000 seulement n'étaient pas nuls. Avec un calculateur 704 le calcul aurait duré quatorze heures. Les auteurs ont tiré parti de la structure quasi diagonale de cette matrice et exécuté le calcul en dix minutes sur le même calculateur. L'établissement d'un programme particulier dans un cas pareil représente donc une nécessité impérieuse. MM. Namyet et Biggs signalent de plus qu'une utilisation partielle des particularités du problème couvrant donc une famille plus large de problèmes aurait pris quatre-vingt-dix minutes ⁽¹⁾.

Nous pensons que les problèmes à trois dimensions pourraient être abordés par une méthode inspirée de la méthode tensorielle de Kron pour les circuits électriques [40].

La Société Bull vient, d'ailleurs, de mettre au point un programme de calcul utilisant la méthode de MM. L. Blanche, E. Dony et J. Gæthals [46 bis].

Les auteurs ont étendu à des structures hyperstatiques générales, grâce à des considérations topologiques, une méthode matricielle initialement limitée aux contraintes thermiques de tuyauteries entravées.

Le Gamma 3 ET permet actuellement de traiter ainsi huit inconnues hyperstatiques avec un nombre quelconque d'éléments droits ou courbes.

⁽¹⁾ Il s'agit vraisemblablement du « court circuit » des opérations obtenu par application d'une inégalité fonctionnelle entre les indices des éléments.

à ce sujet. M. Abraham a utilisé le calculateur IBM 704 et estime possible de ne pas dépasser 70,00 NF d'utilisation de machine par kilomètre de route.

V. Calcul des barrages voûtes.

Un programme mis au point pour le 704 IBM a été annoncé.

VI. Poutres continues.

La Société Royal Mac Bee annonce sur LCP 30 un programme de calcul des moments dans une poutre métallique continue.

VII. Stabilité des talus et des barrages en terre.

MM. Little et Price [43] ont établi pour un calculateur Deuce le programme de calcul de la méthode de Fellenius modifiée par Bishop.

L'ouvrage étant supposé constitué de tranches verticales composites de faible épaisseur, on calcule le coefficient de sécurité F le long de traces circulaires de centres et rayons arbitraires par la formule :

$$F = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum \frac{(c' + W(1 - B) \operatorname{tg} \Phi')}{\cos \alpha + \frac{\operatorname{tg} \Phi' \sin \alpha}{F}}$$

W représente le poids d'une tranche et α l'angle du rayon du cercle avec l'axe de la tranche au point d'intersection.

c' est la cohésion du sol, B la pression capillaire et Φ' est l'angle de résistance au cisaillement.

Ce calcul, simple dans son principe, représente un travail considérable pour un ouvrage d'importance moyenne, impliquant le calcul de cent ou deux cents cercles.

Le programme mis au point par les auteurs réduit au strict minimum ce travail.

L'utilisateur fournit en effet au centre de calcul les seuls éléments suivants :

1° La profondeur du plan d'eau;

2° Un tableau des coordonnées, par rapport à un système d'axes rectangulaires, des points singuliers du barrage (changements de pente, de nature de sol), numérotés arbitrairement et classés dans un ordre quelconque. En cas de modifications de la géométrie ou des caractéristiques du sol il est donc possible d'introduire des modifications sans reprendre le tableau en entier.

3° Un tableau des jonctions des points singuliers relatifs aux discontinuités du sol (indiqués par leurs numéros du tableau précédent) complété par le numéro du type de sol situé en dessous de chaque ligne considérée.

4° Un tableau des types de sol donnant pour chacun d'eux en fonction du numéro qui lui a été donné pour le tableau précédent les caractéristiques habituelles.

5° L'indication pour chaque série de cercles que l'on veut étudier : du rayon, de l'ordonnée et de l'abscisse du centre du premier cercle et de la quantité dont on doit la majorer pour les suivants.

Les séries de cercles suivantes en sont déduites par simple modification de l'un de ces paramètres au moins. Une fois ces données introduites, la machine effectue les calculs qu'elle présente sous forme d'un tableau donnant

- le nombre de tranches coupées par le cercle;
- l'ordonnée du plan tangent horizontal au cercle;
- les coordonnées du centre du cercle;
- le coefficient de sécurité.

Le calculateur enregistre en deux minutes le programme et les données. Le calcul d'un cercle coupant trente tranches prend environ cinq secondes. Le calcul de deux cents cercles est donc exécuté en une demi-heure environ.

Selon les estimations des auteurs, le calcul d'un cercle coûte environ quatre livres sterling à la main et deux shillings (soit quarante fois moins) à la machine. L'établissement d'un tel programme constitue donc une démonstration remarquable de l'économie, réalisable pour certains calculs susceptibles d'être exécutés plusieurs fois ⁽¹⁾.

VIII. Ponts dalles biais.

MM. Chen, Siess et Newmark ont étudié de façon très complète un type d'ouvrage courant aux États-Unis, pour des portées ne dépassant pas 30 m (fig. 10). La dalle en béton armé, d'épaisseur uniforme, repose sur cinq poutres métalliques identiques parallèles à l'axe de la route.

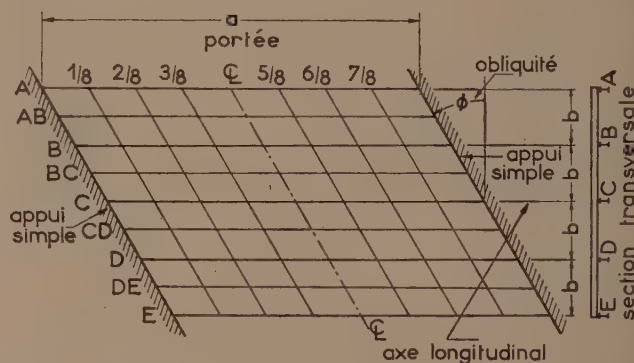


FIG. 10. — Schéma d'un pont-dalle biais (d'après MM. Chen-Siess-Newmark).

1° Hypothèses de calcul.

1° Les poutres exercent seulement des efforts verticaux sur la dalle. Il n'y a pas de cisaillement entre poutres et dalle.

⁽¹⁾ Les auteurs signalent avoir remarqué que la valeur de F trouvée par la méthode de Newton, correspond parfois à des minimums secondaires. Il s'agit pensons-nous, des racines réelles ou complexes du polynôme ayant pour degré le nombre de tranches que l'on obtient par réduction au même dénominateur.

2° On néglige les effets de membrane.

3° La réaction des poutres sur la dalle s'exerce sur des lignes géométriques et non des surfaces finies.

4° La flèche d'une poutre est égale à celle de la partie correspondante de la dalle.

5° Les poutres extrêmes ont pour écartement la largeur même de l'ouvrage.

6° Poutres et dalle reposent sur appuis simples.

7° Le coefficient de Poisson du béton est supposé nul.

2° Méthode de résolution.

Les équations aux dérivées partielles exactes sont remplacées par des équations aux différences finies en coordonnées obliques.

Le réseau adopté comporte soixante-trois nœuds. Le nombre des nœuds a été limité par les possibilités de la machine employée (Illiac) qui à l'époque (1954) ne disposait que de sa mémoire rapide (1 024 mots) et permettait de résoudre au maximum des systèmes de trente-neuf équations linéaires ⁽¹⁾.

Les divers chargements sont décomposés en un chargement symétrique et un chargement antisymétrique. Cette décomposition permet alors de ramener le problème à la résolution de deux systèmes linéaires de trente-deux et trente et une équations respectivement. Pour un chargement dissymétrique, il suffit d'ajouter les deux solutions trouvées. Cette méthode permet, de plus, de diminuer le temps de calcul qui est proportionnel au carré de l'ordre du système.

Les charges concentrées sont calculées en tenant compte de la surface circulaire équivalente calculée par la méthode de Westergaard et Nadai.

3° Vérification de la méthode de calcul.

La méthode ci-dessus a été appliquée à des ponts dalles droits et les résultats comparés aux valeurs exactes calculées par Newmark et Siess [41, 46].

Cette comparaison a permis de déterminer des corrections à appliquer par extrapolation aux résultats obtenus pour les ponts biais.

⁽¹⁾ Actuellement, l'Illiac permet de résoudre des systèmes de 142 équations.

Les auteurs conseillent d'adopter des réseaux de mailles plus fins que celui de leur étude, surtout dans les cas où l'on ne dispose pas d'éléments pour apporter les corrections nécessaires.

4° Caractéristiques des ouvrages calculés.

L'étude a porté sur un total de dix-huit ponts en faisant varier l'obliquité, l'élancement et la rigidité relative de la dalle et des poutres.

Soient :

b l'écartement des poutres métalliques;

a la portée;

E_b le module d'élasticité des poutres;

E_a le module d'élasticité du béton;

I_b et I_a les moments d'inertie des poutres et de la dalle.

Pour les ponts d'élancement $\frac{b}{a} = 0,1$, la rigidité relative

$\frac{E_b I_b}{E_a I_a}$ avait pour valeurs 2 — 5 et 10.

Pour les ponts d'élancement $\frac{b}{a} = 0,2$, la rigidité relative

$\frac{E_b I_b}{E_a I_a}$ avait pour valeurs 1 — 2 et 5.

Pour chaque pont ainsi défini, le calcul est fait avec les obliquités 30°, 45° et 60°.

5° Présentation des résultats (notations de la fig. 10).

Pour chaque pont, on détermine les lignes et coefficients d'influence suivants :

Moments dans les poutres A, B et C à mi-portée.

Moment dans la poutre C aux 1/4 et 3/8 de la portée.

Moment transversal dans la dalle sur AB et BC à mi-portée.

Moment transversal dans la dalle sur B et C à mi-portée.

Flèche de la poutre C à mi-portée.

L'ensemble est donné dans quarante-deux tables numériques et quarante-huit graphiques.

Les figures 11-12-13, extraites du mémoire analysé et légèrement simplifiées pour la clarté de la reproduction illustrent l'ampleur de cette recherche et le soin qui y a été apporté.

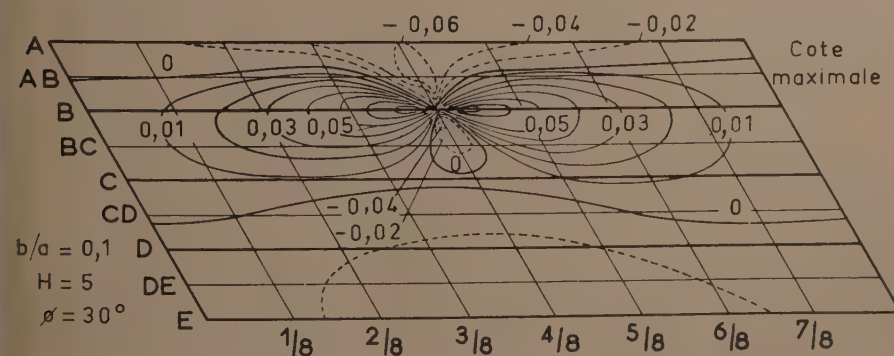


FIG. 11. — Lignes d'influence du moment transversal dans la dalle sous charge concentrée en B à mi-portée. (d'après MM. Chen, Siess, Newmark)

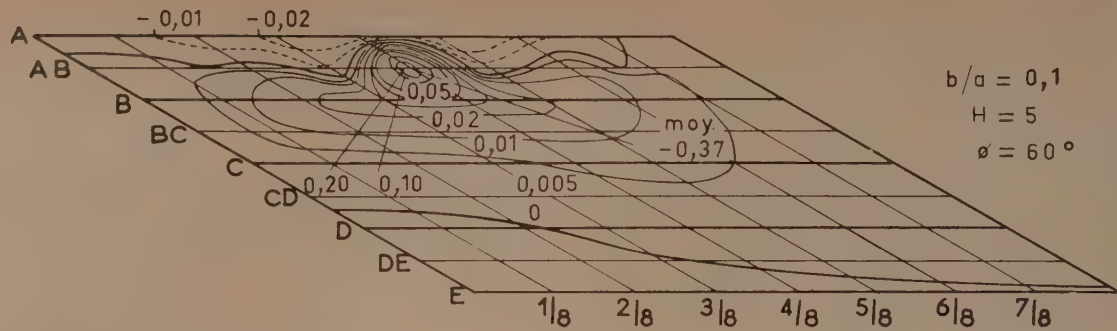


FIG. 12. — Lignes d'influence du moment transversal sous charge concentrée en AB à mi-portée de la dalle (d'après MM. Chen, Siess, Newmark).

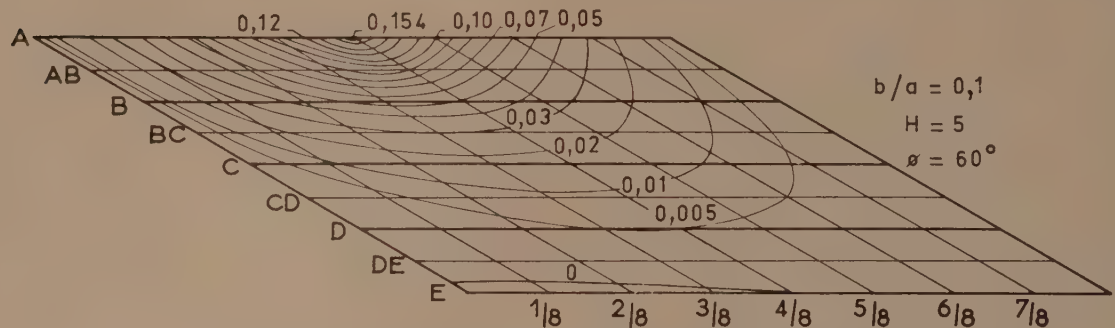


FIG. 13. — Lignes d'influence du moment sous charge concentrée à mi-portée de la poutre A (d'après MM. Chen, Siess, Newmark).

6° Volume des calculs.

Trois-cent-six systèmes de trente et un ou trente-deux équations ont été résolus en dix-sept heures environ par l'Illic. Chacun de ces systèmes comportant un millier de coefficients, ceux-ci ont dû être également calculés au préalable par la machine.

7° Exploitation des résultats de la recherche.

Les auteurs ont déterminé pour des convois types les moments maximaux et des formules empiriques permettant un dimensionnement rationnel de ce type d'ouvrage.

IX. Recherche opérationnelle.

La recherche opérationnelle est un sujet à la mode. La grande variété de ses applications récentes semble défier toute définition précise. MM. Morse et Kimball [52] dont l'autorité en la matière est bien connue ont proposé de la définir comme une méthode.

« La recherche opérationnelle est une méthode scientifique d'étude des problèmes de décision et d'organisation destinée à donner à l'autorité responsable des éléments de sa décision sous forme quantitative » (traduction libre).

Il n'y a donc pas de différence fondamentale avec le classique rapport si ce n'est dans les techniques utilisées pour son établissement. On voit également qu'il n'y a pas de « baguette magique » et que rien ne viendra remplacer le bon sens et la compétence des rédacteurs. Quant à la déci-

sion ultime elle n'est nullement automatique et aucun robot ne remplacera jamais un « Grand Patron ».

Les étapes de la résolution d'un problème sont les suivantes [5] :

- 1° Formulation du problème;
- 2° Choix d'un modèle mathématique;
- 3° Résolution du modèle;
- 4° Vérification du modèle et de la solution;
- 5° Contrôle et amélioration de la solution.

Les techniques de résolution sont aussi variées que les modèles. Certains problèmes relativement circonscrits et fréquents ont permis le développement de méthodes particulières (problèmes de transport). La recherche opérationnelle a donc pour but, ou plutôt pour ambition, d'aider à résoudre les questions trop complexes où l'expérience et le bon sens ne peuvent suffire.

La résolution pratique des problèmes est la plupart du temps impossible en calcul manuel. Les calculateurs numériques sont donc d'emploi courant en recherche opérationnelle.

Sujets d'études comme méthodes de résolution présentent parfois un aspect très inattendu, voire cocasse.

Empruntons à M. David Slepian du département de Recherches Mathématiques des Laboratoires Bell [51] un exemple d'application de la théorie de l'information. Cette théorie fondée par M. Shannon est actuellement en plein

développement. Le contenu d'information par caractère y a reçu le nom d'entropie en raison de la similitude avec les formules d'entropie d'un système en mécanique statistique.

M. Slepian écrit donc : « L'entropie des textes anglais a été calculée par Shannon et d'autres par toute une série de techniques différentes. Elle se révèle assez faible. Les meilleures estimations semblent situer sa valeur à environ un chiffre binaire par caractère. Cela signifie qu'un livre anglais type pourrait être transcrit en employant exclusivement des zéro et des un sans changement de la longueur de l'ouvrage. Les règles compliquées de l'orthographe et de la grammaire anglaises constituent un emploi des plus inefficaces des vingt-sept lettres de l'alphabet. Un alphabet de deux lettres pourrait être utilisé pour transmettre les mêmes messages sans augmenter leur longueur en moyenne.

« Cette inefficacité de l'anglais peut s'exprimer d'une autre façon. On peut démontrer que l'entropie maximale d'une source utilisant vingt-sept lettres est 4,75 chiffres binaires par caractère.

Etant donné que l'entropie de l'anglais est seulement d'un chiffre binaire par caractère, nous disons que l'anglais a une efficacité de $1/4,75$; en d'autres termes, l'anglais n'est efficace qu'à 21 % ».

L'auteur en conclut qu'on pourrait raccourcir les textes anglais de 79 %. Voilà de quoi consoler bien des Français...

Les meilleurs spécialistes de la recherche opérationnelle sont gens sans préjugés qui n'hésitent pas devant les méthodes les plus abstraites telles que celles de la logique symbolique par exemple. En contrepartie, pourrait-on dire, lorsque le problème étudié l'exige, ils inventeront un jeu et ... y joueront. M. Morse [51] raconte que pour la mise au point de méthodes d'attaque aérienne des sous-marins durant la guerre, il imagina un jeu et fit construire un appareil électrique spécial.

Quelques semaines de jeu apprirent à son équipe plus que six mois d'études analytiques faites auparavant. L'exploitation fut certainement moins « divertissante » à tous points de vue que nous avons pu le suggérer.

X. Dépouillement de mesures. — Statistiques.

Les dépouillements de mesure et les calculs statistiques présentent toutes les caractéristiques habituellement attribuées à juste raison aux calculs astronomiques.

Il suffit d'essayer une fois d'appliquer la méthode des moindres carrés à un assez petit nombre de résultats de mesure pour souhaiter se décharger de ce genre de travail sur un calculateur électronique.

Fort heureusement ces calculateurs se font un plaisir de remplacer l'homme et de dépasser largement les limites de sa patience⁽¹⁾. Pour prendre l'exemple du 650 IBM si l'on

ne dispose malheureusement pas de tous les programmes mentionnés dans les Communications of the association for Computing Machinery [61] IBM France offre entre autres des programmes déjà fort utiles :

— Lissage d'une courbe par la méthode des moindres carrés :

Limites : 312 mesures, polynome de degré 33.

— Analyse harmonique :

Limite : 1 550 mesures.

— Calcul de X^2 et ϕ pour une table de contingence 2×2

Limites : 100 mesures, 70 variables.

— Calculs d'autocorrélation :

Limite : 1 450 mesures.

— Analyse de corrélation :

Limite : 50 variables.

De son côté la Compagnie des machines Bull a établi un programme d'analyse statistique composé de quatre parties utilisables séparément :

1^o Statistique à une variable : Moyennes, Variances, Ecart types.

2^o Statistique à deux variables : Covariance, Coefficients de régression, Coefficients de corrélation.

3^o Statistique à p variables ($p \leq 32$) : Coefficients de régression et de corrélation partielle.

4^o Exploitation de la régression : Valeurs estimées, Coefficient de corrélation multiple.

L'association des utilisateurs du Gamma 3 Bull met d'ailleurs à la disposition de ses membres tout un ensemble de programmes intéressant des disciplines diverses.

XI. Comptabilité des chantiers.

Une entreprise de Travaux Publics américaine, la *Mac Graw and Cy* a récemment publié sous la signature de son vice-président M. Mc Clean [62] une description très intéressante de sa méthode de gestion des petits chantiers.

Toutes les opérations de comptabilité sont centralisées et traitées au siège social par un atelier de mécanographie.

Les éléments servant à établir la paie et la situation du chantier sont transmis quotidiennement au siège par ruban télétype. Le siège social après dépouillement est à même d'envoyer par télescripteur au chantier les chèques et la situation hebdomadaire du chantier. Les chèques sont signés au chantier après vérification du total général.

Pour les chantiers importants cette entreprise installe sur place un service mécanographique. Dans une telle organisation il est possible de traiter tout ou partie des travaux sur calculateur électronique si la complexité des problèmes ou leur urgence le rend nécessaire.

⁽¹⁾ La méthode des moindres carrés est toutefois très « encombrante » en mémoire.

CHAPITRE IV

SERVITUDES

Toute médaille a son revers et les calculateurs électroniques n'échappent pas à cette règle. Aussi croyons-nous utile de ne pas passer sous silence cet aspect du sujet.

I. Coût des études préliminaires.

L'étude d'un nouveau problème et la mise au point du programme correspondant constituent une lourde charge. Il importe donc pour chaque cas particulier d'adopter un compromis entre la généralisation, permettant l'amortissement des frais d'études sur un plus grand nombre d'utilisations, et l'augmentation consécutive de ces mêmes frais, éventuellement aussi celle du « temps machine ». Nous avons vu pour les structures à trois dimensions un aspect de cette question particulièrement démonstratif. Il n'est pas, en ce domaine, de règle générale, et la décision dépend en dernière analyse autant de la taille et de la structure du calculateur employé que d'un « pari » sur le développement des problèmes à venir.

On voit dès lors qu'en rendant plus aisée la formulation des problèmes il en résulte bien plus qu'une simple satisfaction logique et un allègement du travail préliminaire. Il est donc intéressant d'examiner rapidement les différents modes d'établissement des programmes de calcul.

II. Établissement des programmes de calcul.

Les programmes peuvent, sur une machine donnée, être rédigés de trois façons principales :

1° En « langage machine ».

Toutes les instructions sont écrites en utilisant le code même de la machine. C'est toujours un travail long, fastidieux et délicat, car opérations, comparaisons et transferts doivent être exécutés et vérifiés dans un domaine à deux dimensions (espace-temps). Une fois mis au point, un tel programme s'exécute par contre beaucoup plus rapidement. Les programmes en « langage machine » sont donc de règle pour les problèmes d'emploi très fréquent dont il importe de diminuer le prix de revient. Un perfectionnement important a été apporté par les programmes d'assemblage qui effectuent une partie de ce travail (Paso d'IBM).

2° Programmes interprétatifs.

Les instructions sont rédigées dans un « langage » plus commode qui est celui d'une machine plus perfectionnée. Avec ces instructions on charge un programme permettant de les interpréter au fur et à mesure qu'elles se présentent. Le déroulement du calcul est donc plus lent mais sa mise au point généralement moins délicate. De plus, assez paradoxalement, on augmente ainsi quelquefois la partie disponible de la mémoire malgré la place que tient le programme interprétatif (Flair du 650 IBM par exemple).

3° Autoprogrammation.

C'est de loin le mode d'écriture le plus séduisant. Les problèmes sont rédigés dans un « langage » assez proche

des expressions mathématiques habituelles. Les instructions et les formules sont traduites par un « compilateur » qui établit un programme en « langage machine ». Ce système mis au point par IBM pour le 704 sous le nom de Fortran a suscité de très nombreux travaux.

Un comité étudie actuellement un « langage algorithmique international » (Algol) qui doit assumer trois fonctions :

- la définition d'un langage de « référence » ;
- la formulation d'un langage de « publication » ;
- l'adaptation du langage de publication pour un calculateur donné.

Le langage de publication devrait être lisible avec un minimum d'effort préalable pour tout mathématicien ou technicien non spécialiste des machines à calculer ou de l'analyse numérique. Son adaptation à un calculateur particulier devrait être quasi automatique par un jeu de règles très simples.

La forme actuelle de l'Algol paraît malheureusement beaucoup moins aisément assimilable que le Fortran d'IBM ou l'A.P. 3 du Gamma 60 de Bull (fig. 14-15).

L'autoprogrammation est, pour le moment, l'apanage des grands calculateurs. Il faut en effet une mémoire de grande capacité pour loger un tel programme et, même au prix d'un fractionnement en plusieurs passages les calculateurs moyens ne peuvent guère employer cette méthode que pour des problèmes peu volumineux de moyenne complexité. Même avec cette restriction l'Algol pourrait apporter une simplification considérable dans la tour de Babel que nous connaissons (1).

C 1	POUR COMMENT N°	5	6	7	EXPRESSION FORTRAN	72	IDENTIFICA 73
					MULTIPLICATION D'UNE MATRICE RECTANGULAIRE		
					DIMENSION A (20, 20), B (20, 20)		
					LIRE 1, A, B, M, L, N		
				7	FAIRE 4 J = 1, N		
				1	FAIRE 4 I = 1, M		
				6	SOM = 0.0		
				2	FAIRE 3 K = 1, L		
				3	SOM = SOM + A(I, K) * B(K, J)		
				5	PERFORER 1, SOM		
				4	CONTINUER		
				8	ARRET		

FIG. 14. — Exemple de programmation Fortran (Manuel de Programmation Fortransit. Compagnie IBM France).

(1) Les applications administratives n'ont pas pu bénéficier jusqu'à présent d'une généralisation analogue en raison de la grande diversité qu'elles présentent. Des travaux remarquables ont toutefois déjà été menés à bien en particulier à la General Electric Company [63]. Outre deux systèmes d'autoprogrammations conçus pour le 702 et le 650 IBM, M. Mac Gee et ses collaborateurs ont mis au point trois programmes très généraux pour les opérations de tri, de tenue de fichier, d'établissement de compte rendu.

CALCUL D'UNE INTEGRALE

(Méthode de Simpson)

```

1 DEBUT FONCTION SIMPSON ENTREE A ; B ; DELTA ; V ; F (Y)
2 CALCULER IBAR = V x (B-A)
3 QUANTITE N = 1
4 CALCULER H = (B-A) / 2
5 J = H x (F (A) + F (B))
6 QUANTITE S = 0
7 QUANTITE K VARIE DE 1 A N PHRASE 8
8 CALCULER S = S + F (A + (2K-1) x H)
9 Z = J + 4 x H x S
10 SI (ABS(Z-IBAR) - DELTA) > 0 ALLER A 16
11 QUANTITE IBAR = Z
12 CALCULER J = (Z + J) / 4
13 N = 2 x N
14 H = H / 2
15 ALLER A 6
16 CALCULER SIMPS = Z / 3
17 FIN FONCTION SIMPSON SORTIE SIMPS

```

FIG. 15. — Exemple de programmation en AP 3 (d'après M^{me} J. Poyen. Chiffres Revue de l'Association Française de Calcul, juin 1959).

III. La mise au point.

C'est aussi un poste important car il est exceptionnel qu'un nouveau programme soit immédiatement utilisable. Selon M. Alt du *National Bureau of Standards* [1] la chasse aux erreurs représente 50 % du travail. Il faut de plus tenir compte du temps passé à calculer, au préalable, les éléments qui permettront les contrôles de mise au point.

La machine ne laisse rien passer en effet, et toutes les éventualités doivent être prévues et traitées dès le départ. La mise au point d'un programme de calcul est donc beaucoup plus longue et délicate qu'en calcul manuel.

CHAPITRE V

CONDITIONS D'EXPLOITATION — CONCLUSIONS

On lit très souvent dans les revues techniques américaines que le calcul manuel revient très cher et représente un luxe que les gens sensés cherchent à éviter. Ce n'est d'ailleurs pas le point de vue des seuls constructeurs mais aussi celui des sociétés disposant de calculateurs. Le *Bulletin de l'Association for Computing machinery* d'octobre 1959 décrit un système d'autoprogrammation pour le 705 [60] appelé Simple Algebraic Language for Engineers. La *Société Smith* à laquelle les auteurs appartiennent estime économique de traiter de cette façon tout calcul exigeant à la main plus d'une heure.

Une telle conclusion est certainement justifiée dès que l'on dispose d'un calculateur aussi puissant. Un Ingénieur britannique, M. Abbott, [59] a récemment consacré un article aux économies réalisables en génie civil par l'emploi des calculateurs électroniques. Les deux courbes (fig. 16)

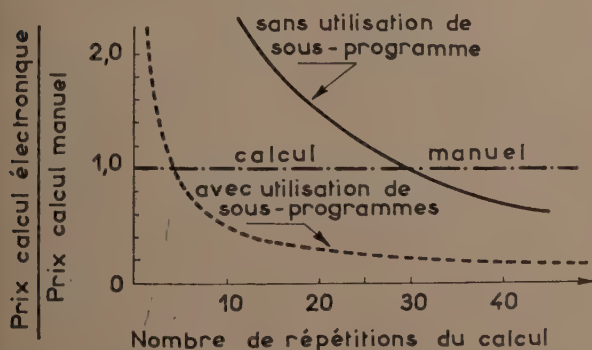


FIG. 16. — Économie réalisable par le calcul automatique (d'après M. B. Abbott, *Engineering* 22 mai 1959).

correspondent aux cas extrêmes de problèmes utilisant ou non des sous-programmes déjà mis au point. L'économie réalisée à partir de trente répétitions dans le cas le plus défavorable montre que l'emploi des calculateurs électroniques pourrait être rapidement accessible par la coopération sur le plan professionnel. Il serait en effet possible :

- d'étudier et mettre à la disposition de tous les bureaux d'études des programmes assez généraux pour être aisément amortis;
- de faciliter les premiers contacts, assez déroutants, avec les méthodes et les machines. Le secret professionnel serait naturellement assuré chaque fois que cela serait nécessaire. Cette étape permettrait à chacun de décider s'il y a lieu de disposer d'un calculateur en propre ou en association avec d'autres entreprises.

Ce type d'association commence à se répandre aux États-Unis. Sept entreprises de l'Illinois employant de quarante à cent vingt mensuels ont ainsi formé un centre de calculs commun disposant d'une Bendix G 15 [64]. De son côté, le constructeur de la LGP 30 reproduit dans sa publicité l'article d'un ingénieur conseil M. Brender qui a acheté cette machine.

Le bureau qu'il dirige comprend deux associés, quatre ingénieurs et quatre employés. M. Brender estime que ce petit calculateur, amorti sur cinq ans, lui coûte l'équivalent de deux ingénieurs et lui a permis d'accroître son activité comme quatre ou cinq ingénieurs supplémentaires.

Le point de vue généralement admis par les spécialistes du traitement d'information administratif et comptable, est qu'il est généralement malaisé de mettre en évidence une économie réalisée par l'emploi d'un calculateur. Tous

s'accordent par contre, pour constater que l'effet, après la période d'adaptation très délicate dans ces domaines, est une importante augmentation de l'activité jointe à la possibilité d'exécuter ce qui n'aurait pas été imaginable auparavant. Il en est de même en calcul scientifique. Nous croyons que cela seul justifie pleinement l'emploi des calculateurs électroniques.

Je ne voudrais pas terminer sans remercier M. Raoul Pascal, que M. L'Hermite avait consulté au cours de l'été 1958,

au sujet de l'utilisation des calculateurs électroniques dans notre profession.

C'est à la brillante analyse des possibilités qu'il y avait reconnues que nous devons cette conférence. M. Pascal recommandait la méthode de M. Livesley pour les systèmes réticulés, celle de M. Courbon pour les ponts et nous nous sommes largement inspirés de son rapport.

Je tiens à remercier également M. Cuendet qui a dessiné les projections particulièrement nettes que nous avons utilisées.

CHAPITRE VI

BIBLIOGRAPHIE

La bibliographie ci-après n'est nullement limitative et ne comporte qu'une partie des ouvrages consultés. La plupart comportent des bibliographies assez complètes.

I. Calculateurs électroniques à programme enregistré.

- [1] F. L. ALT : Electronic digital Computers (Academic Press, — N. Y.).
- [2] A. et K. BOOTH : Automatic digital calculators (Academic Press, — New-York).
- [5] CHIFFRES : *Revue de l'Association française de calcul* (98 bis, boulevard Arago, Paris XIV^e).
- [4] ENGINEERING RESEARCH ASSOC. INC. : High Speed Computing devices (Mac Graw Hill).
- [5] E. GRABBE, S. RAMO, D. WOOLDRIDGE : Handbook of automation Computation and Control, deux volumes parus (Wiley).
- [6] D. HARTREE : Calculating instruments and machines (Cambridge).
- [7] P. NASLIN : Principes des calculatrices numériques automatiques (Dunod).
- [8] M. PÉLEGRIN : Machines à calculer électroniques arithmétiques et analogiques (Dunod).
- [9] F. RAYMOND : L'automatique des informations (Masson).
- [10] RICHARDS : Calculateurs numériques. — Eléments et circuits (Dunod), (traduit de l'anglais).
- [11] A. SESTIER : Calculateurs numériques automatiques (Cegos).
- [11 bis] M. V. WILKES : Calculatrices numériques automatiques (Dunod).

II. Analyse numérique.

- [12] A. F. CAL (Association Française de Calcul) : Séminaire sur les valeurs propres de matrices, (1957-1958), (IBM, 20, av. du Général Michel Bizot, Paris XII^e).
- [13] A. ANGOT : Compléments de mathématiques (*Revue d'optique*).
- [14] L. COLLATZ : Numerische Behandlung von Differentialgleichungen (Springer).
- [15] L. COUFFIGNAL : Résolution numérique des systèmes d'équations linéaires (Gauthier Villars, Eyrolles).

- [16] R. COURANT and D. HILBERT : Methods of mathematical Physics (Interscience, N.-Y.).
- [17] J. COURBON : Intégration numérique en résistance des matériaux (*Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, février 1952).
- [18] L. DERWIDUE : Introduction à l'algèbre supérieure et au calcul numérique algébrique (Masson).
- [19] V. FADDEEVA : Computational methods of linear algebra (Dover), (traduit du russe).
- [20] A. FANJAT de SAINT-FONT : Expressions matricielles des formules de la résistance des matériaux (*Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, février 1959).
- [21] G. FORSYTHE : Contemporary state of numerical analysis (Surveys in applied mathematics, vol. V. Wiley).
- [22] E. GRABBE, S. RAMO : Voir [4].
- [23] A. HOUSEHOLDER : Principles of numerical analysis (Mac Graw Hill).
- [24] E. JAHNKE and F. EMDE : Tables of functions (Dover, reproduction américaine).
- [25] L. KANTOROWITSCH, W. KRYLOW : Näherungsmethoden der höheren Analysis (deutscher Verlag der Wissenschaften), (traduit du russe).
- [26] Z. KOPAL : Numerical analysis (Chapman and Hall).
- [27] J. KUNTZMANN : Méthodes numériques. — Interpolation. — Dérivées (Dunod).
- [28] K. KUNZ : Numerical analysis (Mac Graw Hill).
- [29] J. LABORDE : Travaux pratiques de calcul (Centre de documentation universitaire).
- [30] C. LANCZOS : Applied analysis (Prentice Hall).
- [31] W. MILNE : Numerical calculus (Princeton university Press).
- [32] W. MILNE : Numerical solution of differential equations (Wiley).
- [33] H. MINEUR : Techniques de calcul numérique (Béranger).
- [34] NATIONAL PHYSICAL LABORATORY : Modern Computing methods (Nots on applied science n° 16), (H. M. Stationery Office).
- [35] J. PELTIER : Résolution numérique des équations algébriques (Gauthier Villars, Eyrolles).
- [36] J. ROBINSON : Comment la machine électrique de bureau permet d'effectuer les calculs de la résistance des matériaux (Centre de Hautes Etudes du béton, du béton armé et du béton précontraint, CHEBAP, 6, r. Paul-Valéry, Paris XVI^e).

- [37] R. SAUER : Anfangswertprobleme bei partiellen Differentialgleichungen (Springer).
- [38] J. SCARBOROUGH : Numerical mathematical analysis (John Hopkins).
- [39] T. VOGEL : Les fonctions orthogonales dans les problèmes aux limites de la physique mathématique (C. N. R. S.).

III. Calculs de génie civil.

- [40] F. BERMAN : The use of a transformation chain in matrix structural analysis (American Society of Civil Engineers, Conference on electronic computation, novembre 1958).
- [41] T. Y. CHEN, C. P. SIESS and N. M. NEWMARK : « Moments in simply supported skew I beam Bridges » (University of Illinois. — *Engineering experiment station Bulletin* n° 439, janvier 1957).
- [42] R. CLOUGH : Structural Analysis by means of a matrix algebra program (American Society of Civil Engineers. — Conference on electronic computation, novembre 1958).
- [43] A. LITTLE and V. PRICE : The use of an electronic Computer for slope stability analysis (*Géotechnique*).
- [44] R. K. LIVESLEY : The application of an electronic digital Computer to some problems of structural analysis (The structural Engineer Vol. XXXIV, n° 1, janvier 1956, p. 1 à 12).
- [45] NAMYET and BIGGS : Stress analysis of a large radar antenna by digital Computer (*Civil Engineering*, février 1959, p. 54-55).
- [46] NEWMARK and SIESS : « Moments in I-beam Bridges » (University of Illinois. — *Engineering experiment station Bulletin* n° 336, 1942).
- [46 bis] L. BLANJEAN : Méthode matricielle de calcul des tuyauteries soumises à expansion thermique entravée (*Acier-Stahl-Steel*, n° 9 et 10, 1957).
- E. DONY : Méthode matricielle de calcul des tuyauteries soumises à expansion thermique entravée (*Acier, Stahl, Steel*, n° 11 et 12, 1957).
- E. DONY et J. GÛETHALS : Méthode matricielle de calcul des structures hyperstatiques (*Acier-Stahl-Steel*, n° 1, 1959).

IV. Recherche opérationnelle.

- [47] C. BERGE : Théorie générale des jeux à n personnes (Gauthier Villars, *Mémorial des Sciences Mathématiques*, n° 138).

- [48] CASE Institute of technology : A comprehensive bibliography on operations research (Wiley).
- [49] A. KAUFMANN : Méthodes et modèles de la recherche opérationnelle (Dunod).
- [50] J. Mac CLOSKEY et J. COPPINGER : Recherche opérationnelle, cas pratiques et méthodes (Dunod), (traduit de l'anglais).
- [51] J. Mac CLOSKEY and F. TREFETHEN : Operations research for management (John Hopkins), (traduction française, Dunod).
- [52] P. MORSE and G. KIMBALL : Methods of operations research (Massachusetts institute of technology).
- [53] J. Von NEUMANN and O. MORGENSTERN : Theory of games and economic behavior (Princeton).
- [54] L. RAIFFA : Games and decisions (Wiley).
- [55] V. RILEY and S. GASS : Linear programming and associated techniques (John Hopkins).
- [56] T. SAATY : Mathematical Methods of operations research (Mac Graw Hill).
- [57] S. VAJDA : Théorie des jeux et programmation linéaire (Dunod) (traduit de l'anglais).
- [58] J. WILLIAMS : La stratégie (Dunod), (traduit de l'anglais).

V. Statistique. — Comptabilité. — Emploi des calculateurs électroniques.

- [59] ABBOTT : Structural analysis by digital computer. Better designs achieved economically (*Engineering*, 22 mai 1959, p. 666-667).
- [60] W. BRITTENHAM, K. CLARK, G. KUSS and H. THOMPSON : Sale, a simple algebraic language for engineers (Communications of the association for computing machinery, octobre 1959).
- [61] J. HAMBLIN : Statistical programs for the IBM 650 (Communications of the association for computing Machinery, août 1959 et octobre 1959).
- [62] F. Mac CLEAN : Machines in home office (*Civil engineering*, mai 1958).
- [63] W. Mac GEE : Generalization : Key to successful electronic data processing (*Journal of the association for computing machinery*, janvier 1959).
- [64] NEWS BRIEFS : Computer service made feasible for small firms (*Civil Engineering*, mai 1958, p. 101).

CONCLUSION DU PRÉSIDENT

Je serai certainement votre interprète en remerciant M. Tournyol de cet exposé dont la qualité maîtresse est certainement la clarté, alors qu'il s'agit d'un sujet très touffu, très difficile, très complexe. Je dois le remercier au nom de tous.

M. Tournyol a donné un aperçu des différentes machines utilisées et fabriquées en France. Il s'est efforcé de citer tout le monde. Je pense que vous vous en êtes rendu compte. Son désir aurait été de donner, si je peux dire, le premier prix d'excellence à chaque société. Il s'est efforcé d'être absolument objectif et impartial.

Ces machines électroniques, telles qu'elles ont été envisagées aujourd'hui, sont vues sous l'angle de l'utilisateur et encore d'un utilisateur précis, je veux dire la profession du Bâtiment et des Travaux Publics, et en particulier les bureaux d'études, les entreprises.

Que demandent les utilisateurs dans ce domaine? D'abord, une grande rapidité dans les calculs. Je crois que vous avez été convaincus que c'est bien le résultat obtenu. Un exemple d'ailleurs est souvent donné, celui du nombre π qui a fait antérieurement l'objet de bien des calculs de la part de mathématiciens extrêmement fanatiques. L'un d'entre eux est allé jusqu'à 707 décimales, en y consacrant probablement plusieurs années de sa vie. Eh bien, une machine électronique peut vous donner 10 000 décimales en une heure un quart.

Par conséquent, du point de vue de la rapidité, je crois qu'on peut être parfaitement servi.

Mais il y a également un deuxième élément important, c'est le prix de revient, ce prix de revient qui intéresse tous les entrepreneurs, je vais donner quelques chiffres.

Le prix des machines est élevé et s'étend, en francs anciens, de quelques dizaines de millions à quelques centaines de millions. Il s'agit donc d'une dépense importante. Vous me direz qu'on peut demander aux sociétés de louer des machines à l'heure, par exemple. Le prix de l'heure oscille de quelques dizaines de milliers de francs à quelques centaines de milliers de francs. Il s'agit donc encore de dépenses importantes qui ne sont justifiées que dans la mesure où on y retrouve par ailleurs un avantage substantiel. D'ailleurs, M. Tournyol vous a expliqué, vers la fin de sa conférence, qu'au-dessous de trente répétitions, le calcul habituel que tout le monde fait depuis toujours, est plus avantageux que le calcul des machines.

Ceci montre que dans chaque cas particulier se pose un problème qui doit être résolu plus facilement par un homme qualifié, un homme ayant l'habitude des calculs et des machines.

Je crois qu'après l'exposé de M. Tournyol vous serez d'accord avec moi pour penser qu'il est bien cet homme.

M. L'Hermite a fondé aux Laboratoires de la rue Brancion, une « Section de calcul » dont M. Tournyol est le chef. Vous savez maintenant que cette section existe. Vous aurez certainement intérêt à vous adresser à M. Tournyol qui, dans tous les cas, pourra donner, je crois, d'excellents conseils.

Je ne vais pas faire une deuxième conférence. Je m'arrête et peut-être, parmi vous, certaines personnes ont-elles des questions à poser à M. Tournyol.

DISCUSSION

M. BILLIARD. — M. l'Herminier, vous répondez par avance à la question que je voulais poser, qui est de savoir quelles sont les applications qui ont été faites, en France et aussi à l'étranger, soit dans les grandes administrations, soit dans les grandes entreprises, des procédés qui viennent d'être exposés pour le calcul dans la construction.

M. TOURNYOL. — En Amérique, il existe pour presque chaque machine toute une série de programmes disponibles que d'ailleurs les utilisateurs mettent en commun parce que toutes ces machines ont un code, un langage machine différent et il faut donc les interpréter. Il y a ainsi une mise en commun des utilisateurs d'une même machine de tous les programmes dont ils disposent professionnellement, calculs de ponts, de poutres continues, calculs de tracés de route, calcul des spirales pour les passages biais et les ouvrages à plusieurs niveaux, courants aux États-Unis.

Malheureusement, tous ces calculs ne sont pas actuellement pour la plupart disponibles en France et, de toute façon, répondraient assez souvent à des spécifications américaines qui ne sont pas transposables.

M. BILLIARD. — Si j'ai bien compris, même en Amérique, dont les moyens sont supérieurs aux nôtres, les entreprises se concentrent autour d'un dispositif auquel elles participent pour la préparation de leurs calculs.

M. TOURNYOL. — Les bureaux d'études, les bureaux d'ingénieurs-conseils importants ont généralement une machine en propre et les grosses entreprises, notamment les entreprises de charpente métallique ont assez souvent des calculateurs en propre. C'est devenu chez eux assez courant et je pense que leurs possibilités au point de vue amortissement, doivent leur permettre d'avoir une rentabilité intéressante.

M. le PRÉSIDENT. — Dans ce domaine, je crois qu'il est bon de rappeler l'article très intéressant de M. Abraham, dont M. Tournyol nous a parlé tout à l'heure. M. Abraham, Ingénieur des Ponts

et Chaussées de la Direction des Routes, a exposé une méthode de calcul, pour machines électroniques, des projets routiers. Il a montré que 3 km de route, avec quatre-vingt-dix profils en travers, pouvaient être calculés en cinq minutes à l'aide d'une de ces machines. Il a précisé que l'économie était d'environ 30 % par rapport aux procédés classiques. Par conséquent, voilà un cas précis concernant les projets routiers qui montre l'intérêt de ces calculatrices.

M. BILLIARD. — Il faut, dans ces conditions, que ce dispositif soit entre les mains de l'administration qui établit le projet.

M. TOURNYOL. — Il y a des administrations qui en ont, à ma connaissance; pas encore les Ponts et Chaussées, mais l'E. D. F.

M. BILLIARD. — Ce sont les Ponts et Chaussées qui établissent les projets. Est-ce que les Ponts et Chaussées disposent de cette méthode? Je ne le crois pas, à ma connaissance. La théorie de M. Abraham est tout à fait valable. On en conclut alors qu'il faut prévoir, qu'il faut admettre que les Ponts et Chaussées disposent de ce système pour faire toutes les études de routes, ce qui n'est pas le cas actuellement. Ceci est vrai pour toutes les grandes administrations françaises.

M. LACROIX. — Je voudrais poser un problème précis à M. Tournyol. Par exemple, si j'ai un système de six équations à six inconnues, combien faut-il de temps pour donner la solution, à partir du moment où je donne le papier sur lequel le problème est posé?

M. TOURNYOL. — Six équations à six inconnues, cela ne pose aucune difficulté, il suffit d'avoir un des calculateurs Bull, S. E. A. ou I. B. M. avec les coefficients.

M. LACROIX. — On parle toujours de temps-machine. Au fond, pour le constructeur, le temps machine, cela ne l'intéresse pas, c'est le temps qui s'écoule entre le moment où le problème est posé et où le résultat est donné.

M. TOURNYOL. — Cela dépend du temps de perforation. Le temps de perforation des données, est, pour six équations à six inconnues, de dix minutes de perforatrice.

M. LACROIX. — Un calculateur peut faire cela dans sa demi-journée. Est-ce intéressant de s'adresser aux machines ?

M. TOURNYOL. — Pour six équations, je ne pense pas que ça vaille la peine, par contre, si on a une quarantaine d'équations, il est plus probable qu'on s'en sorte mieux qu'à la main dans un délai raisonnable.

M. LACROIX. — Il est rare qu'on ait une quarantaine d'équations.

M. TOURNYOL. — Parce qu'on cherche généralement à ne pas les avoir... Alors que rigoureusement il faudrait les poser.

M. LACROIX. — Et dans le cas de deux équations du deuxième degré, par exemple ?

M. TOURNYOL. — Presque toutes les machines disposent de programmes tout faits pour ce travail. Il n'y a qu'à perforer les données et mettre dans la machine un paquet de cartes. Une notice d'utilisation donne les boutons à tourner.

M. DUBRISAY. — Si j'ai bien compris, la programmation est l'adaptation d'un certain problème à une machine déterminée. Il y aura une programmation, par exemple, pour un calcul de route, une autre pour un calcul de barrage. Est-ce à dire qu'il faut une machine spéciale pour des barrages ?

M. TOURNYOL. — Non, c'est toujours la même machine.

M. DUBRISAY. — Une machine peut-elle avoir sa programmation modifiée ?

M. TOURNYOL. — La programmation, c'est quelque chose qu'on écrit sur la machine et qu'on efface immédiatement après pour le problème suivant, ceci se fait automatiquement. C'est en fait un paquet de cartes ou un bout de ruban qu'on a dans une armoire et qu'on sort pour effectuer le travail.

M. DUBRISAY. — Ce travail est-il important pour la machine en question ?

M. TOURNYOL. — Il peut y avoir des calculs très importants à exécuter et les premières machines ont été utilisées pour des travaux que jusqu'à l'homme n'avait pas pu faire et qu'on n'avait même pas envisagé de pouvoir réaliser un jour. Et puis, petit à petit, les constructeurs ont perfectionné leurs machines, abaissé considérablement les prix qui, au début, étaient accessibles aux seuls Etats, et ces machines sont devenues accessibles maintenant à des petites entreprises ; je rappelle l'exemple que j'ai donné d'un ingénieur-conseil qui a au total quatre ingénieurs, quatre employés et un associé, ce qui montre qu'il est possible de bénéficier, je ne dis pas des possibilités du Gamma 60 Bull et du 704 I. B. M., mais des possibilités extrêmement importantes avec l'équivalent de 50 000 \$, soit 25 millions de francs anciens.

M. LARWELLE. — Avez-vous des exemples où ces machines aient été employées pour le calcul des gratte-ciel ?

M. TOURNYOL. — Je ne le pense pas, parce que les gratte-ciel ont été conçus et réalisés avant le développement de ces machines qui est tout de même assez récent, puisque la première réalisée aux Etats-Unis l'a été pendant la guerre. C'était une machine à relais qui a énormément servi à la mise au point de toutes les suivantes, mais en fait, jusqu'à la fin de la guerre et peu de temps après, l'utilisation était réservée à l'établissement de tables de tir et de documents de ce genre. Ces très grosses machines ont très largement été subventionnées dans le cadre des frais de recherche et étude par le Gouvernement des Etats-Unis chez différents constructeurs et cela a donné naissance à une industrie dont le développement est actuellement prodigieux.

Une machine comme l'une de celles que j'ai montrées, dont le prix de vente est de l'ordre de 30 millions, vous offre des possibi-

lités qui sont celles des machines qui coûtaient plus d'un milliard il y a quatre ou cinq ans à peu près.

M. ABRAHAM. — Je désire donner quelques précisions sur le calcul des terrassements, tel qu'il est effectué par les services des Ponts et Chaussées.

Il est bien évident que la Direction des Routes ne possède pas de calculatrice électronique. Il existe actuellement chez I. B. M. un programme de calcul de terrassements, qui est à la disposition de n'importe quel client, et nous louons des minutes de calculatrice I. B. M. 704. Les données de base sont envoyées par les services locaux en carnets standard et les résultats des calculs sont renvoyés dans les services dans les deux ou trois jours qui suivent.

Il faut noter cependant que les prix de revient qui avaient été indiqués dans l'article de la *Revue Générale des Routes* de mai 1959, étaient peut-être un peu optimistes.

M. BILLIARD. — M. Tournyol a souligné tout à l'heure la possibilité d'application du système dans les différentes entreprises. Je crois qu'il est nécessaire d'appuyer sur cette considération.

Pour ma part, je l'emploie actuellement et nous en tirons des conclusions intéressantes pour la marche d'une entreprise, parce que le procédé nous permet d'avoir dans un délai relativement court, avec des chantiers très dispersés, les comptes d'exploitation avec tous les détails, les statistiques, les prix de revient, la comparaison avec les prévisions de départ.

Évidemment, c'est un système qui nécessite une mise au point de longue haleine, mais qui permet, en définitive, à la Direction d'une entreprise, d'avoir, à un moment donné, la statistique et la situation de tous les travaux qu'elle a en main. Il n'est certainement pas particulièrement économique, mais étant une œuvre de longue durée, il sera possible à la longue d'apprécier s'il peut le devenir dans les Entreprises de Travaux Publics.

M. BRICE. — Vous nous avez indiqué que les machines permettaient de calculer par exemple les portiques, mais d'après ce que j'ai compris, le calcul est fait dans le sens suivant : on part d'un portique donné, on applique des efforts et on calcule les contraintes résultantes. Ce qui serait intéressant pour le projeteur, ce serait de faire le contraire, ce serait de donner un schéma général de portique, les charges et de déterminer des dimensions pour que les contraintes ne dépassent pas certaines limites. Autrement dit, ce serait une machine à faire des projets. Est-ce concevable ?

M. TOURNYOL. — C'est certainement concevable à condition de dégrossir au préalable le dimensionnement, et la méthode de Livesley telle qu'elle a été mise au point sur le calculateur de Manchester permet, grâce à des tables enregistrées, de faire des modifications, et d'essayer en quelque sorte des variantes par un jeu de commutateurs.

M. BRICE. — Il faudrait que le projeteur ait des indications sur les endroits où des modifications sont à apporter tendant vers une économie générale du projet.

M. TOURNYOL. — Une étude de la déformation plastique de cadres a été entreprise par des méthodes de recherche opérationnelle. J'ai l'impression que c'est quelque chose extrêmement délicat qui a dû coûter probablement fort cher au point de vue calcul, et je ne sais pas ce que cela a donné sur le plan pratique. Il est possible, en tout cas de procéder par tâtonnement sans résoudre à l'envers le problème, ce qui évidemment serait le but du constructeur. Je crains que ce problème soit, non pas mal posé parce que c'est ainsi qu'il se présente au constructeur, mais qu'il ne soit pas mathématiquement résoluble. On peut déjà se contenter d'utiliser ce qu'a fait M. Livesley, essayer des modifications, des variantes et de voir ce que cela donne. Ce n'est pas l'idéal, mais je crois qu'à l'heure actuelle on ne peut guère espérer mieux.

M. POUDADE. — Je pensais que d'autres poseraient avant moi la question de la garantie et de la sécurité des résultats. Est-ce que,

juridiquement parlant, une maison fabriquant des calculateurs électroniques peut garantir l'exactitude?

M. TOURNYOL. — La plupart des calculateurs électroniques actuellement en vente, ou en cours de construction, possèdent des circuits de contrôle extrêmement importants. Effectivement, ils n'ont pas, en principe, une sécurité totale. Les codes correcteurs d'erreurs sont encore extrêmement onéreux et même pas tout à fait élucidés du point de vue mathématique. En fait, on ne constate pas, dans les calculateurs actuellement en service, de résultats anormaux et la plupart comportent un certain nombre de témoins qui s'allument si quelque chose ne va pas. A ce moment là, on recommence cette partie du calcul et on retrouve le bon résultat.

Il est toujours possible, d'ailleurs, de prévoir dans l'écriture du programme des vérifications partielles des résultats. Si, par exemple, on cherche des efforts, on peut vérifier que la somme des efforts en un nœud est bien nulle, qu'on est bien dans une situation d'équilibre.

Jusqu'ici les machines ne sont pas garanties exemptes d'erreurs, mais on constate qu'elles en font infiniment moins que les calculateurs humains. Je crois que cela doit être dans un rapport de 100 ou de 1 000. Mais ce n'est pas une certitude mathématique garantie; c'est un fait d'expérience et tous les calculateurs, actuellement, sont d'une extrême sûreté.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

(Reproduction interdite.)

SUPPLÉMENT AUX

ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

SEPTEMBRE 1960

Treizième Année, N° 153

Série : QUESTIONS GÉNÉRALES (46)

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 25 NOVEMBRE 1958

SOUS LA PRÉSIDENTE DE **M. Henry LOSSIER,**

Ingénieur-Conseil

LES DIVERS ASPECTS DE LA CORROSION DES ARMATURES DANS LES OUVRAGES EN BÉTON ARMÉ ET PRÉCONTRAIN

par **M. D. PETROCOKINO,**
Ingénieur-Docteur, Ingénieur-Conseil

ASSOCIATION FRANÇAISE DES PONTS ET CHARPENTES
CHAMBRE SYNDICALE DES CONSTRUCTEURS EN CIMENT ARMÉ
INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

Le sujet qui fera l'objet de notre séance d'étude d'aujourd'hui relève de la pathologie du béton armé et du béton précontraint. Il s'agit en effet de la corrosion des armatures métalliques. Chaque fois qu'un nouveau matériau apparaît, ses créateurs ou ses supporters exaltent, ce qui est normal, ses avantages par rapport aux matériaux qu'il tend à remplacer, et cela en se basant sur leurs premières observations.

Puis, la redoutable expérience du temps commence et fait parfois apparaître des défauts ou inconvénients qui, en modifiant les appréciations initiales, placent le matériau envisagé dans son cadre définitif.

Le béton armé n'a pas échappé à cette règle. C'est ainsi qu'il apparut que sa résistance aux incendies, si remarquable soit-elle, était cependant limitée et exigeait des précautions spéciales concernant notamment l'enrobage des aciers et la qualité des agrégats. Et son absence d'entretien ne s'affirma certaine et durable que dans des cas bien définis.

L'action des eaux chimiquement pures et notamment celle des eaux de pluie a causé de nombreux mécomptes. Dans bien des cas, les phénomènes ne sont apparus qu'après quinze à vingt ans d'existence, c'est-à-dire au-delà de la responsabilité décennale des architectes et des constructeurs. Dans des cas spéciaux de bétons particulièrement poreux ou exposés à l'eau de mer ou à l'air marin, toutefois, quelques années ont suffi pour provoquer des désordres dangereux.

Les corrosions d'origine galvanique menacent particulièrement les ouvrages qui comportent des armatures à hautes caractéristiques soumises à des tractions élevées et de plus compliquées de flexion. Le contact de métaux de qualités différentes, tels l'acier dur et l'acier doux, favorise parfois ces actions galvaniques, comme l'emploi de métaux spéciaux par exemple le cuivre et le nickel dans des ouvrages en alliages légers. Ceux des mécomptes subis par des ouvrages en béton précontraint, qui nous sont connus, sont en nombre relativement faible. Sans doute doit-on tenir compte du fait que certains d'entre eux n'ont pas été publiés par les intéressés, car un mécompte s'il est toujours instructif, n'est par contre que rarement un sujet de réclame. Ces mécomptes connus sont d'ailleurs répartis dans le monde entier et ont intéressé des ouvrages de types très différents. Certes, de longues expériences auraient pu en éviter un certain nombre.

Mais il ne faut pas oublier que les principaux progrès qui ont été réalisés notamment en médecine, en aviation, en construction, etc., sont dus à l'initiative des spécialistes qui ont eu le courage de courir des risques, que ce soit dans l'intérêt général ou en vue d'intérêts personnels.

Attendre que l'expérience des autres soit sanctifiée par des règles classiques est sans doute un acte de prudence ; mais c'est également le facteur d'un immobilisme incompatible avec l'allure accélérée des progrès des sciences modernes.

Bien que la plupart des spécialistes soient actuellement plus ou moins au courant des causes de corrosion des armatures et des remèdes à y apporter, il nous est apparu intéressant et utile de demander à M. Petrocokino de préciser l'état actuel de la question au cours de la séance d'étude de ce soir, qui sera suivie comme d'usage d'une discussion.

Rappelons que notre conférencier, Ingénieur diplômé de l'École des Travaux Publics et Ingénieur-Docteur de la Faculté des Sciences de Paris, est l'auteur d'une thèse remarquée sur le mécanisme de la foudre. Il a fait partie du Service Électrique de la Société d'Électricité de Paris et, dès 1934, a représenté cette Société pour toutes les questions anti-corrosion et de courants vagabonds. Il fut le conseiller du Ministre Dautry au Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme. Il est aujourd'hui, entre autre, Vice-Président de l'Association des Ingénieurs en anti-corrosion de France et Union Française.

RÉSUMÉ

L'auteur examine tout d'abord le problème du comportement d'un métal quelconque plongé dans une solution électrolytique :

— formation de couches doubles d'ions adsorbés sur la surface du métal et formation d'une demi-pile ;

— formation d'une pile complète lorsque deux métaux de nature différente sont en contact, ou lorsque deux métaux de même nature sont aérés de façon différente. Des contraintes mécaniques à l'intérieur d'un même métal peuvent également donner lieu à une différence de potentiel ; les piles ainsi définies se présentent à des échelles très différentes.

L'auteur étudie alors le cas du béton où les piles formées par les armatures sont à grandes échelles.

L'examen des diagrammes de potentiel en fonction du pH montre les différentes situations où peuvent se trouver les armatures dans le béton. Les propriétés de ce dernier

en tant que conducteur électrolytique sont alors étudiées. L'auteur passe rapidement en revue les différentes altérations se produisant au sein du béton.

Dans une dernière partie sont examinés les dangers encourus par les armatures précontraintes réalisées en nuances dures d'acier qui peuvent également donner lieu à différents types de corrosion :

— la dissolution anodique sans rouille ;

— la « fragilité » due à la pénétration de l'hydrogène atomique dans le métal par diffusion (Théorie du Professeur Darmon).

L'auteur communique quelques résultats obtenus par différents chercheurs sur la fragilité des métaux martensitiques sous courant cathodique.

En conclusion l'auteur résume son exposé par un tableau donnant les différents facteurs de corrosion.

EXPOSÉ DE M. PETROCOKINO

INTRODUCTION

Le but du présent exposé est de fixer l'état actuel de nos connaissances en ce qui concerne les causes de la corrosion des armatures du béton et des remèdes susceptibles d'être envisagés. Il s'adresse principalement aux ingénieurs du bâtiment et des travaux publics désirant comprendre les différents mécanismes de la corrosion et s'initier aux méthodes modernes de thérapeutique. Or, ces questions relativement nouvelles ne sont pas enseignées dans les Grandes Ecoles formant les ingénieurs. Pour cette raison nous avons donné volontairement à ce travail une allure un peu didactique qui sera, nous l'espérons, appréciée de quelques-uns, mais dont nous nous excusons auprès des personnes déjà informées.

Une première partie sera consacrée au rappel des notions les plus importantes d'électro-chimie et d'électricité se trouvant à la base de la physique des métaux.

Il nous a paru opportun de terminer ce chapitre en montrant les différences de comportement des métaux usuellement employés dans le bâtiment : l'acier, le plomb, l'aluminium et le cuivre selon les milieux avec lesquels ils sont en contact. Nous comparerons aussi ces comportements avec ceux de quelques métaux rares.

Dans une seconde partie nous envisagerons le comportement de l'acier doux, matériau ordinaire constituant les armatures, dans le béton.

Enfin, une troisième partie de l'étude sera spécialement consacrée au cas des armatures de précontrainte, celles-ci étant en acier de nuances dures dont les altérations suivent parfois des mécanismes très différents de la corrosion ordinaire.

PREMIÈRE PARTIE

RAPPEL DE QUELQUES NOTIONS D'ÉLECTROCHIMIE ET D'ÉLECTRICITÉ

Comportement d'un métal dans une solution conductrice d'électricité

Considérons un métal M_e plongé dans une solution qui pourra être de l'eau très pure ($\text{pH} = 7$) qui est suffisamment conductrice d'électricité pour servir d'électrolyte (M_e est ici le symbole chimique arbitraire du métal, ex : Fe, Al etc...)

On sait, depuis les travaux de NERNST, que le métal prendra dans l'électrolyte une charge électrique qui dépendra de la « pression » des ions du métal :

$$E = E_o + \frac{RT}{nF} \text{Log}_e \left[\frac{|M_e|}{M_e^{n(+)}} \right], \quad (1)$$

dans le cas des métaux réactifs, Mg, Al, Zn, Fe, Pb, il se formera une couche double adsorbée formée d'ions

SUMMARY

The author first of all examines the problem of the behavior of any metal immersed in an electrolytic solution:

— formation of double layers of ions adsorbed on the surface of the metal and formation of a semi-cell.

— formation of a complete cell when two metals of different nature are in contact, or when two metals of the same nature are ventilated in a different fashion. Mechanical stresses within the same metal can likewise give rise to a potential; the cells thus defined appear at very different scales.

The author next studies the case of concrete in which the cells formed by the reinforcements are on a large scale.

The study of the diagrams of potentials in terms of the pH shows the different situations in which the reinforcements in the concrete may be found. The properties of the concrete as an electrolytic conductor are then studied. The

author briefly reviews the different alterations occurring within the concrete.

In a final section the dangers that may be incurred by prestressed reinforcements made of hard grades of steel which can likewise give rise to different types of corrosion are examined:

— anodic dissolution without rust;

— the "brittleness" due to the penetration of atomic hydrogen into the metal by diffusion (Professor Darmon's theory).

The author communicates a number of results obtained by different investigators on the brittleness of martensitic metals under cathodic current.

In conclusion the author summarizes his report by a table giving the different factors of corrosion.

hydratés (plus généralement solvatés), électrostatiquement attirés par des électrons en excès dans le métal (voir fig. 1, partie de gauche). M_e se charge négativement par rapport à la solution, la face positive de la « couche double » étant formée par les cations hydratés. Cela suppose naturellement que les forces d'hydratation (ou de solvation) sont capables de rompre la liaison : électron/ion M_e .

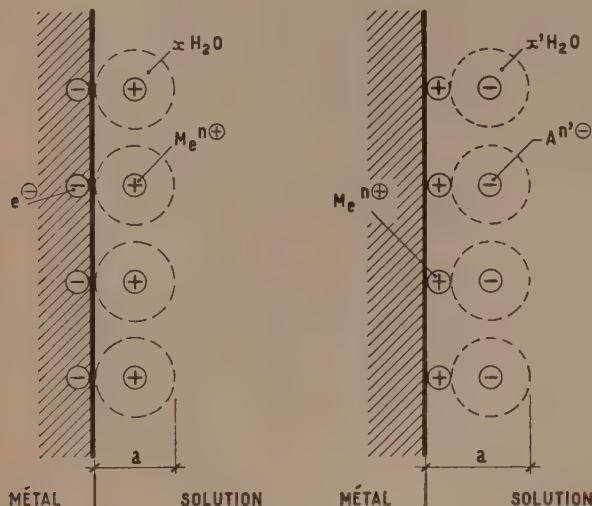


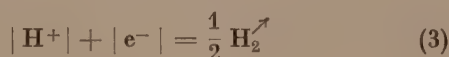
Fig. 1.

Pour certains métaux cela n'est pas possible et c'est alors la *pression osmotique* des cations contenus dans la solution qu'il convient de prendre en considération.

$$E' = E_o + \frac{RT}{nF} \log_e \frac{|M_e^{n(+)}|}{|M_e|}, \quad (2)$$

les cations s'adsorberont sur le métal, qui se chargera positivement, la face négative de la *couche double* étant formée par les anions $|A^{n(-)}|$ en excès de la solution. C'est le cas des métaux nobles, Au, Ag, Pt, Cu, etc... (voir fig. 1, partie de droite)

La *couche double* donne lieu à une chute de potentiel d'autant plus importante que les ions adsorbés sont moins hydratés (ou solvatés). Elle est suivie au sein de la solution par une *couche diffuse* où les concentrations des ions vont en décroissant et qui est pratiquement seule accessible aux électrodes-sondes de mesures. Il peut, bien entendu, se faire que les cations venant s'adsorber sur le métal sont des *protons* $|H^+|$. Ceux-ci réagiront avec les électrons libres du métal suivant la relation :



il y aura dégagement d'hydrogène. Finalement un film gazeux d'hydrogène isolera complètement le métal de la solution, lui conférant un état d'*immunité*. Tout ceci n'est qu'un schéma simplifié pour se fixer les idées. Des réactions chimiques secondaires se produiront presque toujours qui compliqueront singulièrement le problème réel, et nous reviendrons sur la question de l'hydrogène à la

fin de l'exposé. Lorsque l'*activité* des ions métalliques est égale à l'unité, on définit la *série des potentiels normaux* « E_o » des métaux (par rapport à leurs propres sels). Le tableau suivant donne quelques valeurs importantes.

SYMBOLE	NOM	VALENCE (n)	E_o (EN VOLTS) A 25° C
K	Potassium	1	— 3,200
Ca	Calcium	2	— 2,800
Mg	Magnésium	2	— 1,850
Al	Aluminium	3	— 1,337
Ti	Titane	2	— 1,25
Zn	Zinc	2	— 0,770
Fe	Fer	2	— 0,440
Ni	Nickel	2	— 0,231
Pb	Plomb	2	— 0,120
H ₂	Hydrogène	1	± 0,000
Cu	Cuivre	1	+ 0,522
Hg	Mercure	2	+ 0,748
Ag	Argent	1	+ 0,770
Au	Or	1	+ 1,200

Métaux réactifs électro-négatifs

Métaux nobles électro-positifs

Le potentiel E_H par rapport à l'électrode à l'hydrogène d'un métal Me est de la forme

$$E_H = E_o + 0,06 \log_{10} [M_e^{n(+)}]. \quad (4)$$

Si l'*activité* qu'il convient de ne pas confondre avec la concentration est égale à l'unité E_H se confond avec E_o .

Notion de demi-pile et de pile

La conjonction d'un métal avec la solution de sel de ce même métal peut être considérée comme une demi-pile. On a vu que cette demi-pile fournit une force électromotrice E qui dépend de la nature du métal, de la nature de la *couche double* adsorbée, de la concentration de la solution et de la température. La combinaison de deux demi-piles réalisée par la jonction électrique de deux métaux immergés aboutit à une véritable pile, capable d'entretenir un courant électrique, puisque cette fois nous avons réalisé un circuit fermé. Le courant en effet, se referme par la solution. La différence de potentiel demi-pile/solution sera mesurée par rapport à une contre-électrode impolarisable à hydrogène. On mesurera, à la température donnée, dans la solution envisagée, E_1 pour le métal électro-négatif Me_1 (réactif, anode) et E_2 pour le métal électro-positif Me_2 (noble, cathode). Ces deux valeurs seront tout à fait indépendantes l'une de l'autre. La force électromotrice disponible aux bornes de la pile sera : $|E_1 - E_2|$ (compte tenu des signes) (voir fig. 2, partie du haut).

Cette force électromotrice sera capable d'entretenir un courant i dans le circuit total de résistance ΣR ⁽¹⁾ (loi d'Ohm). On remarquera qu'à l'intérieur de la pile, dans la solution, l'anode sera positive et émettra du courant, ce courant se refermera sur la cathode, négative quoique constituée par un métal plus électro-positif.

(1) ΣR est la résistance totale du circuit électrique, y compris la partie située dans l'électrolyte.

Pour éviter toute confusion entre les notations (+) et (-) nous parlerons de préférence d'anodes et de cathodes. Il n'est du reste nullement besoin de recourir à deux métaux différents Me_1 et Me_2 pour réaliser une pile capable de débiter du courant dans un circuit fermé. U. R. EVANS [1] a montré que si l'on réalise une cuve séparée par une cloison poreuse (voir fig. 2, partie du bas) les deux compartiments contenant la même solution et une plaque de même métal, en faisant barboter un courant d'oxygène dans l'un des compartiments on crée une cathode et, corrélativement, une anode dans le compartiment voisin. Le même physicien a vérifié qu'une plaque métallique verticale plongeant dans une solution est anodique à la partie inférieure, la moins aérée, et cathodique à la partie supérieure où la diffusion de l'oxygène est la plus forte.

On peut enfin créer des piles en modifiant la concentration de l'électrolyte dans les deux compartiments séparés par la cloison poreuse.

Ou bien encore en préparant deux solutions identiques mais en faisant subir une contrainte mécanique (flexion, extension) à l'une des électrodes de même métal (anode).

Ainsi, il est aisé de voir que la réaction globale de corrosion est la superposition des réactions d'oxydation à l'anode et de réduction à la cathode, et que si les potentiels anodique et cathodique évoluent de telle sorte que la différence $|E_1 - E_2|$ tende vers zéro (polarisations), le débit de la pile tendra aussi vers zéro et la corrosion s'arrêtera.

Quelques notions purement électriques.

Les piles dont il vient d'être fait mention peuvent évidemment se présenter, dans la pratique, à une échelle plus ou moins grande.

A l'échelle microscopique, la métallurgie nous apprend que les métaux industriels contiennent toujours des impu-

retés et des additions. Il en découle qu'à l'interface du métal plongé dans une solution il se formera une grande quantité de micro-piles, de petites anodes voisinant avec des cathodes de superficie plus ou moins importante. Une mesure effectuée avec une contre-électrode impolarisable donnera maintenant pour le métal considéré une différence de potentiel moyenne dépendant du rapport des surfaces cathodiques et anodiques. Une pile à grande échelle sera un boulon ou un rivet en bronze assemblant deux tôles d'acier immergées. Ou bien encore le fond et le plafond d'un grand réservoir en acier contenant de l'eau de mer. Enfin, à plus grande échelle encore, on peut citer le cas d'une longue canalisation en acier recoupant des terrains argileux humides et des terrains sablonneux bien aérés [2].

Entre les plages anodiques et cathodiques le courant électrique suivra les lignes de force du champ électrique lequel s'épanouit à l'intérieur de la solution suivant les trois dimensions en obéissant aux équations de LAPLACE. Tout est question de dimensions relatives des anodes des cathodes et de leur éloignement respectif.

A l'intérieur du circuit métallique de fermeture le courant circule en créant une chute de tension

$$u = Ri, \text{ où } R \text{ est de la forme } \rho \frac{l}{s}.$$

La résistivité ρ des métaux (conducteurs de première espèce), exprimée en Ohm par mètre varie relativement peu pour les métaux électrotechniques usuels (Cu, Al, Pb).

MÉTAUX	RÉSISTIVITÉ EN Ωm
Cuivre.	$1,8 \cdot 10^{-8}$
Fer.	$1,2 \cdot 10^{-7}$
Plomb.	$2 \cdot 10^{-7}$
Acier inox.	10^{-6}
Titane.	$3,7 \cdot 10^{-6}$
Graphite.	$1,4 \cdot 10^{-3}$

La résistivité des solutions et, en général, des milieux aqueux que nous avons à considérer et enfin celle des corps plus ou moins isolants est variable (conducteurs de deuxième espèce).

	RÉSISTIVITÉ EN Ωm
Eau de mer.	0,2
Eau saumâtre.	1
Argile humide; eaux de rivières polluées.	10
Eau de lac.	10^2
Marne, gypse.	10^3
Basalte sec.	10^4
Béton sec.	10^5
Marbre.	10^7
Hydrocarbures.	10^{13}
Paraffine.	10^{16}

La résistivité d'un liquide est inversement proportionnelle aux sels (extrait sec) qu'il contient.

La résistivité des autres matériaux est inversement proportionnelle à l'humidité saline absorbée.

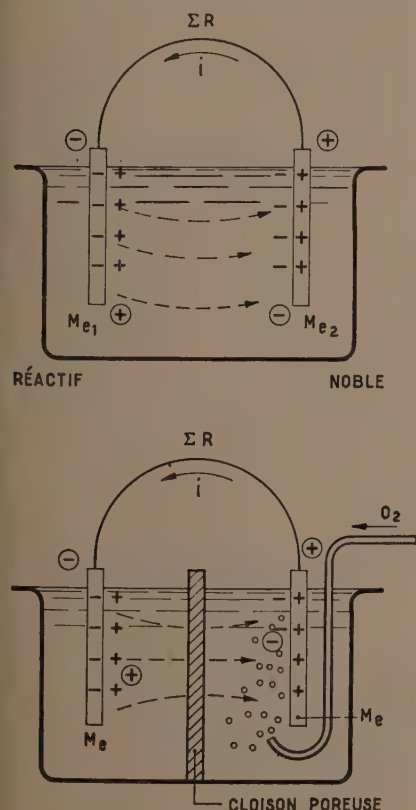


Fig. 2.

Une relation importante qu'il ne faut jamais perdre de vue est :

$$\text{champ électrique } \vec{E} = \rho \delta, \quad (5)$$

$$\text{où } \delta = \frac{i}{s} \text{ (densité de courant) (A/m}^2\text{)}.$$

Lorsque dans une solution, (milieu à trois dimensions) cathodes et anodes sont suffisamment éloignées — mettons dix fois la dimension de la plage la plus grande, la résistance du circuit dans l'électrolyte est pratiquement ramenée aux seules résistances propres de l'anode et de la cathode. Ces dernières peuvent être alors calculées approximativement par la relation simple

$$R = \frac{\rho}{4r}, \quad (6)$$

où r est le rayon équivalent de la plage considérée. Mais si les plages anodiques et cathodiques sont rapprochées on utilisera plutôt la relation

$$R = \rho \frac{l}{s}, \quad (7)$$

classique. Lorsqu'on exécute des mesures de E au moyen d'une contre-électrode impolarisable, c'est-à-dire se rapprochant des conditions de réversibilité, on doit employer un circuit très résistant (exemple : voltmètre électronique); en effet on constitue en somme une pile métal étudié — électrode auxiliaire qui doit avoir, par définition, un débit très faible.

Au contraire, si l'on désire mesurer directement un courant de débit i de pile, on doit, eu égard aux faibles valeurs de force électromotrice disponibles, employer un ampèremètre de très faible résistance interne.

Loi de Faraday

On sait que lorsqu'un courant électrique d'intensité i quitte un métal de poids atomique A , de valence n , et pénètre dans une solution conductrice, il emmène avec lui un poids de métal :

$$P = \frac{A}{nF} it \text{ grammes,} \quad (8)$$

F est ici le Faraday, soit 96 550 C. Rappelons que l'ampère-heure vaut 3 600 Coulomb.

Le tableau suivant donne quelques constantes intéressantes pour les métaux usuels que nous aurons à considérer.

Il convient de ne jamais oublier qu'une année comprend $3,14 \times 10^7$ secondes et qu'une période de garantie décennale correspond à $3,14 \times 10^8$ secondes. Aussi les plus faibles échanges de courant peuvent-ils conduire à des pertes de métal non négligeables. Ainsi 1 m A peut dissoudre 10 cm³ de Fe en dix ans. Si ce métal se retrouve ensuite sous forme de rouille $\frac{1}{2} \text{ Fe}_2 \text{ O}_3, \text{ H}_2\text{O}$ hydratée, on peut s'attendre à un volume de l'ordre de 100 cm³.

Dans la pratique on utilise le plus souvent des alliages. L'acier est un alliage de Fe et de carbone à l'état de cémentite (carbure de fer), on trouve aussi, dans l'acier métallurgique du Mn, du Si du S et du P.

MÉTAL	n	A	g/Ah	Ah/g
Fe	2	55,85	1,04	0,96
Pb	2	207,2	3,86	0,26
Cu	1	63,6	2,37	0,42
Au	1	197,2	7,35	0,136
Mg	2	24,3	0,45	2,21
Zn	2	65,4	1,22	0,82
Al	3	26,97	0,33	2,98
Ti	3	47,9	0,59	1,68

NATURE DE L'ACIER	C	Mn	Si	S	P
Acier extra-doux.	0,10	0,45	0,03	0,08	0,03
Acier doux.	0,19	0,42	0,26	0,006	0,04
Acier demi-doux.	0,29	0,65	0,25	0,046	0,06
Acier demi-dur.	0,36	0,25	0,16	0,015	0,012
Acier dur.	0,5	0,7	0,18	0,016	0,048
Acier extra-dur.	0,6	0,64		0,025	0,037

Le fer est présent à l'état de perlite (agrégat la mellaire de ferrite (fer magnétique) et de cémentite)

L'acier dit *inoxydable* est un alliage 18 Cr, 8 Ni, 0,17 C, 0,35 Mn, 0,75 Si, traces de S et de P.

Lorsqu'un échantillon d'un alliage est mis en contact avec une solution électrolytique, les phénomènes qui vont se passer, à l'échelle microscopique, ne seront pas les mêmes en différents points. On peut mettre en évidence des petites plages anodiques, où le métal passe en solution sous forme d'ions et de plages cathodiques où se dégage l'hydrogène et où se produisent des réductions d'oxydes. Si la répartition des différentes plages est continuellement variable, on a affaire à de la corrosion généralisée que l'on mesure en perte de métal ou une diminution d'épaisseur de l'échantillon rapportée au temps (exemple 0,2 mm/an).

Comme toutes les piles, les éléments de corrosion donnent lieu à un phénomène de polarisation, mis en évidence sur le graphique ci-contre (voir fig. 3).

Grâce aux divers mécanismes qui se déroulent sur les cathodes et les anodes, les potentiels de départ E_0 et E_A se modifient suivant la loi de Tafel et, à l'intersection des droites de polarisation cathodique et anodique on trouve un point d'équilibre tel que M_1 . Pour ce métal, à forte polarisation (exemple acier inoxydable) le potentiel moyen par rapport au milieu est E_M et l'intensité maximale de corrosion Faradéique correspond à la densité de courant δ_1 . Le point M_2 correspond à un métal moins polarisable qui se corrodera davantage.

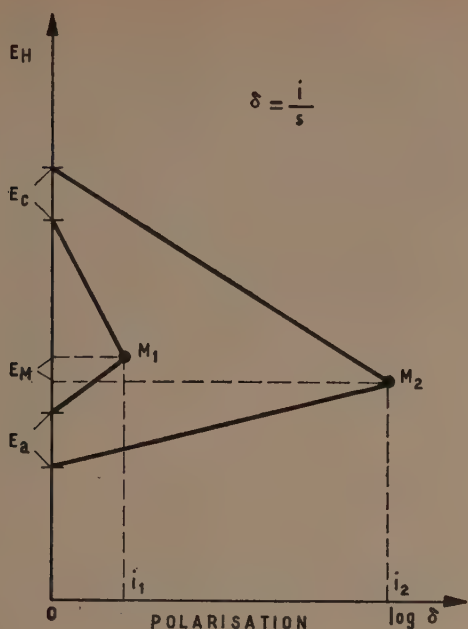


Fig. 3.

Si, au lieu d'être plongée dans une solution, une surface métallique est exposée à l'air libre, on sait que différentes circonstances d'ordre physique, conduisent à une humidification, exemple film d'eau adsorbé, à la suite de l'obtention du point de rosée dans une atmosphère humide.

On se ramène finalement au cas précédent considéré à une échelle suffisamment petite. Le film humide peut lui-même contenir des sels plus ou moins ionisés.

Fixons notre attention sur les différentes circonstances qui peuvent se présenter aux anodes et aux cathodes.

Un champ électrique sera établi, positif aux anodes, négatif aux cathodes. Sur une plage anodique, l'ion $M_e^{n(+)}$ pourra être fortement entraîné par le champ, à condition qu'il y ait continuellement compensation en électrons $(-)$ en provenance du métal et que l'ion métallique donne un produit d'oxydation soluble dans l'électrolyte; c'est la corrosion par dissolution.

Si l'ion $Me^{n(+)}$ donne avec les anions de l'électrolyte un produit insoluble mais précipité, grâce au champ \vec{E} suffisamment loin de l'interface, la corrosion peut être entretenue. Si au contraire le produit insoluble est adsorbé par l'interface métal-électrolyte, on aboutit à la construction d'un film anodique protecteur (couche de MÜLLER) le métal est passivé [3]. L'interface est alors insensible à l'attaque des réactifs chimiques et son potentiel est davantage électro positif (anobli).

Nous avons enfin vu que sur une plage cathodique, il y a dans certaines conditions adsorption d'un film d'hydrogène, l'interface conserve une structure métallique, on dit qu'il y a immunité.

Étude de quelques métaux.

M. POURBAIX [4] a établi pour la plupart des métaux, par le calcul et contrôle en laboratoire, des diagrammes $E_H = f(\text{pH})$ très utiles pour se fixer les idées, mais très délicats à utiliser dans des cas concrets (les diagrammes que nous avons choisis sont relatifs à la stabilité thermodynamique dans l'eau pure 25° C et 1 atm.

Il est entendu que le potentiel E_H par rapport à l'hydrogène, d'un métal Me est défini par la relation

$$E_H = E_o + 0,06 \log_{10} \left[\frac{M_e^{n(+)}}{1} \right] \quad (9)$$

Ceci pour $\text{pH} = 0$, où E_o est le potentiel normal du métal considéré, avec la définition donnée plus haut (formule 4);

$$\left[\frac{M_e^{n(+)}}{1} \right] \text{ a la forme } \left[\frac{\text{Ox}}{\text{Red}} \right] \text{ des électrochimistes.}$$

Si la solution n'est pas complètement ionisée ou bien si le système d'oxydo-réduction n'est pas complètement dissocié, le pH intervient et la relation la plus générale du potentiel est :

$$E_H = E_o + \frac{0,06}{n} \log_{10} \left[\frac{\text{Ox}}{\text{Red}} \right] + 0,06 \text{ pH.} \quad (10)$$

Chaque terme ayant en facteur $\frac{RT}{nF}$, le potentiel dépend donc de la pression et de la température (normalisation pour $\theta^0 = 25^\circ \text{C}$).

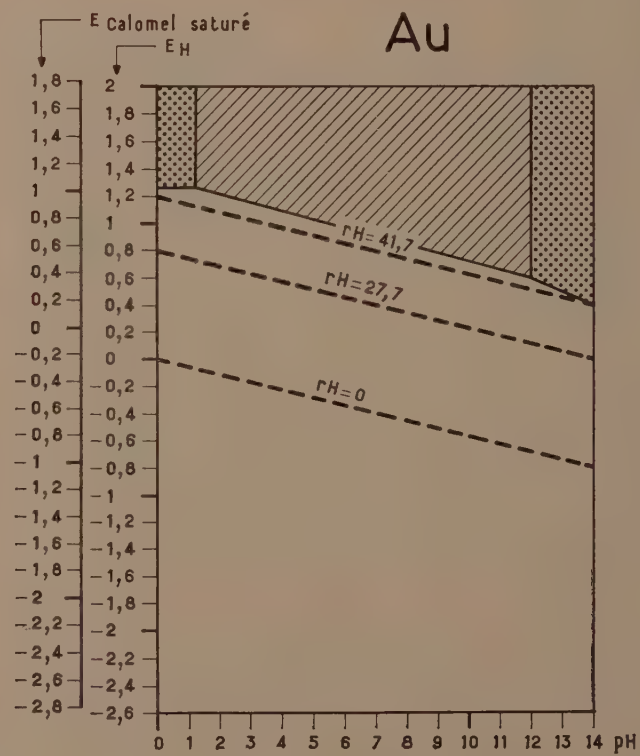
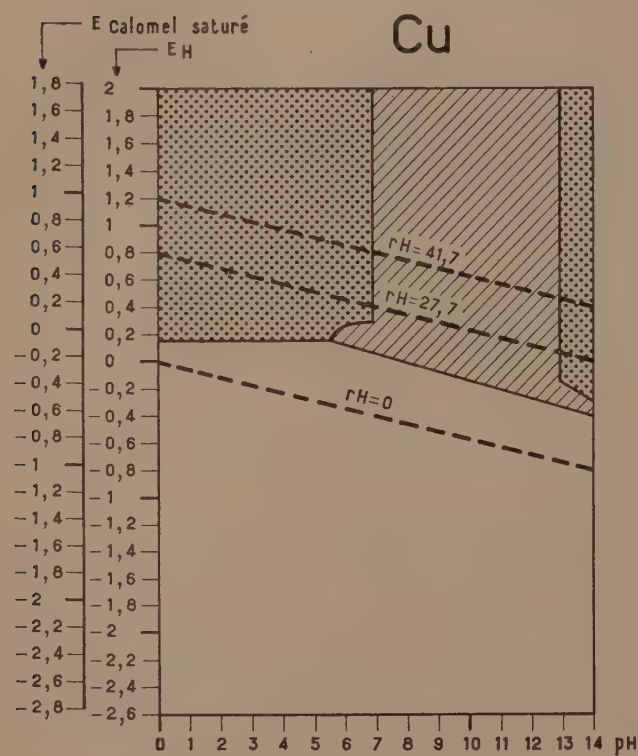
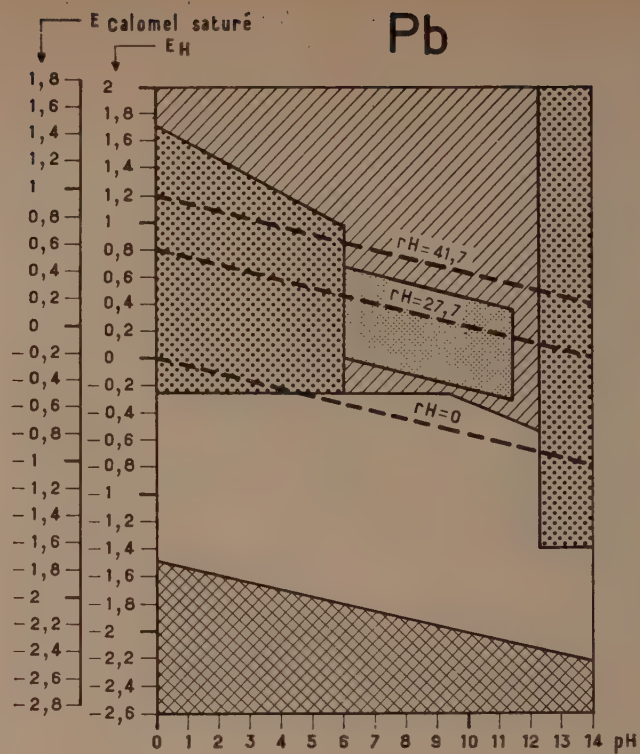
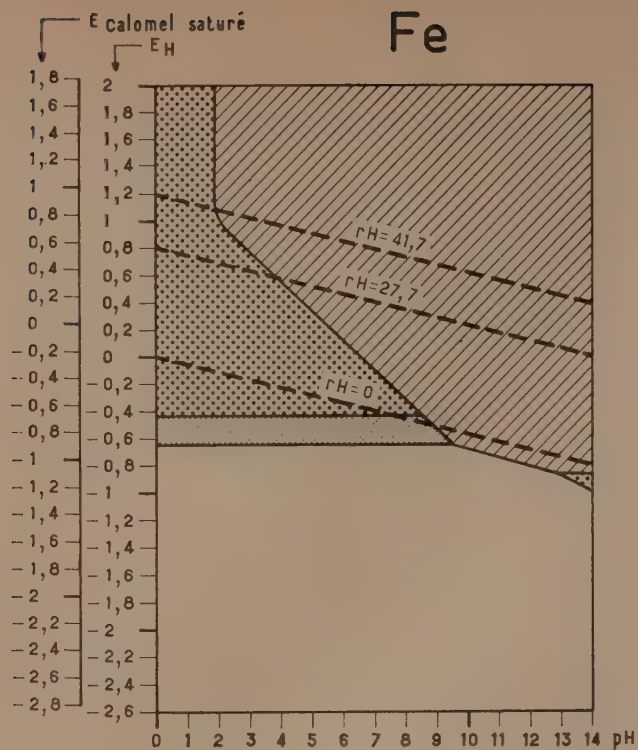
Nous présentons deux planches groupant, l'une (fig. 4), les métaux usuels et nobles comme le Fe, le Pb, le Cu et l'Au, l'autre (fig. 5), les métaux réactifs comme le Mg, le Zn, l'Al.

Sur chaque diagramme on a tracé le réseau des droites de rH à l'intérieur desquelles l'eau est thermodynamiquement stable; elle est neutre pour $rH = 27,7$, réductrice vers $rH = 0$ et oxydante vers $rH = 41,7$.

On notera dans le cas du fer la plage de dissolution ionique; le fer fond comme une bougie ne précipitant pas de rouille; à droite on remarquera le triangle de corrosion caustique.

Pour le plomb, la zone centrale de passivité est instable; comme pour la plupart des métaux amphotères, on constate une bande de forte corrosion alcaline, avec formation de plombates pour les potentiels positifs et de plombites pour les forts potentiels négatifs (de $-0,8\text{V}$ à $-1,4\text{V}$). Ce métal présente pour toute la gamme de pH un phénomène nouveau : la désagrégation par l'hydrogène, pour les fortes tensions négatives. Ceci est à rapprocher de ce qui sera exposé plus loin. Le pH de l'eau de chaux dans le béton variant de 12 à 14, on voit que le plomb doit être employé dans le bâtiment avec prudence.

Le diagramme de cuivre n'appelle pas de commentaire particulier mais il convient de rappeler que ce métal réagit avec le béton si celui-ci contient de l'ammoniaque. L'or est naturellement cité ici pour illustrer le comportement électro-chimique d'un métal très noble.



Zone de forte corrosion.

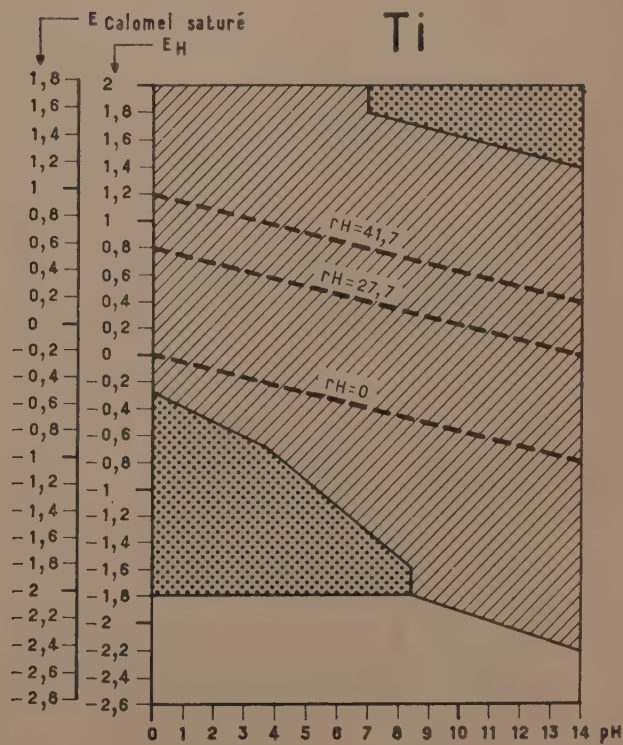
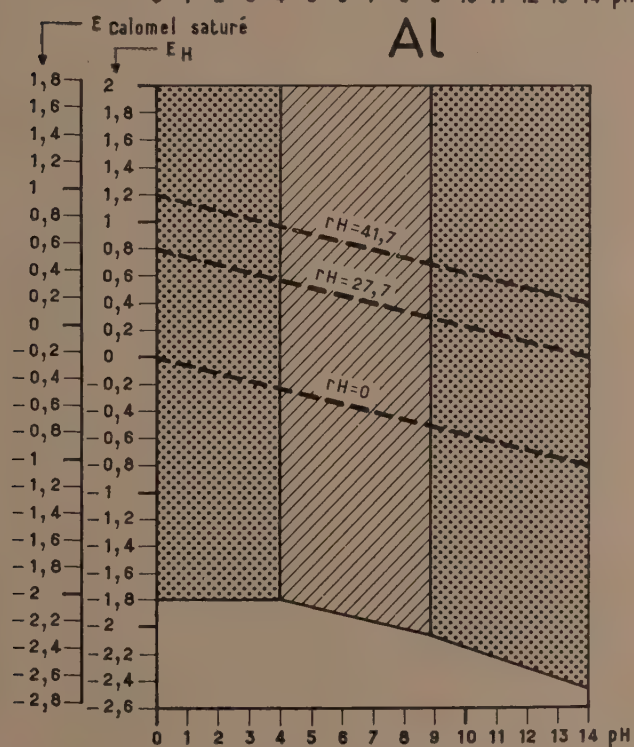
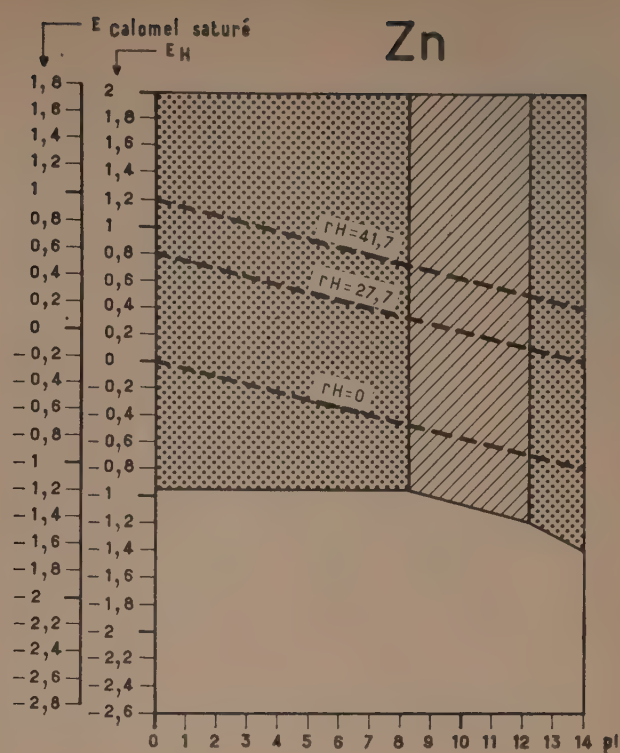
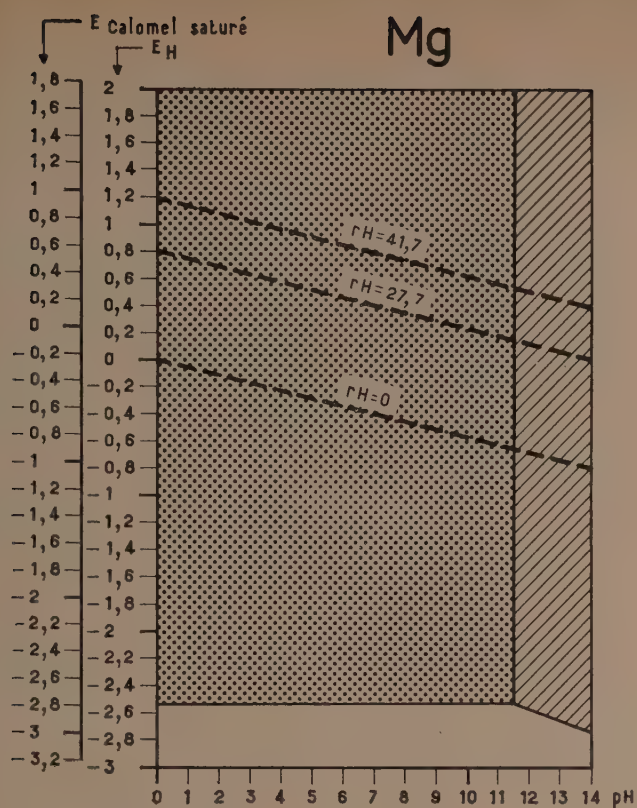


Zone de dissolution métallique.



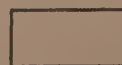
Zone de passivité.

Fig. 4 et 5. — Diagrammes



d'équilibre thermo-dynamique.

Zone d'immunité.



Zone de désagrégation cathodique du plomb.



A la figure 5, sur le premier diagramme, on remarquera la corrodabilité particulière du magnésium, métal souvent employé pour cette raison, et dûment allié, comme anode sacrificielle de protection galvanique.

Le zinc peut être également employé comme anode réactive, à condition d'éviter sa passivation, mais son emploi en tant que revêtement de l'acier (galvanisation à chaud et à froid) est extrêmement répandu.

A cause de sa corrosion alcaline, on doit isoler le zinc du béton humide dans le bâtiment.

L'aluminium réagit beaucoup plus avec le béton humide sauf si celui-ci est alumineux; des précautions sont à prendre. Il est utile de rappeler ici que grâce à son domaine étendu de passivité très stable, l'aluminium peut être protégé, par un film dur et adhérent d'alumine obtenu par oxydation anodique.

Le titane est ici indiqué à titre de métal peu corrodable.

C'est un métal qui résiste bien à l'eau de mer et dont l'emploi tend à se généraliser aux U. S. A, malgré un prix assez élevé.

Nous voudrions terminer cette rapide revue des métaux en revenant quelque peu sur le cuivre et son fréquent emploi comme électrode de mise à la terre des masses métalliques des ouvrages contenant des installations électriques. Aux U.S.A. on tend à proscrire l'emploi de ce métal comme électrode de mise à la terre, dès que la résistivité du sol ambiant est suffisamment basse ($< 10 \Omega \text{ m}$) et surtout si le sol est imprégné d'eau de mer.

Le complexe cuprochlorique est soluble dans un tel milieu, migre et peut se déposer sur les aciers à béton où il provoque de graves corrosions.

Il est généralement très facile de réaliser d'excellentes terres dans les sols de basse résistivité en employant un métal plus adapté que le cuivre qui est électro-positif par rapport à l'acier.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS DU BÉTON ET DE LA CORROSION DES ARMATURES

Le béton en tant que conducteur électrolytique.

Tout ce qui précède a montré comment des plages anodiques et cathodiques se forment à la surface d'un métal en contact avec un milieu suffisamment électrolyte, c'est-à-dire ionisé.

Un béton est composé d'agréats, de liant hydraulique et d'eau de gâchage. Après le coulage du béton la prise donne lieu d'abord à une consommation chimique de l'eau de gâchage, puis interviennent successivement et à plus ou moins longue échéance le retrait et le fluage.

La prise proprement dite du béton est suivie de son durcissement. L'eau consommée pendant la prise entre en combinaison avec les principaux constituants du ciment : silicates bi et tricalciques, l'aluminate tricalcique et l'aluminoferrite. Les ciments contiennent en outre diverses impuretés qui dépendent de leur nature et de leur provenance.

Au moment de la fabrication du béton on a peut-être employé 8 à 10 % d'eau, rapportés au poids total des matériaux secs mis en œuvre. Mais un béton durci et suffisamment vieux contient encore une grande quantité d'eau liée (notamment par adsorption). Il est de fait que le ciment le plus sec accuse encore une certaine conductibilité électrique.

R. DECOUX et J. BARRÉE [5] ont montré en 1941 que la résistivité d'un béton ordinaire (Portland) part de quelque $100 \Omega \text{ m}$ tout de suite après la coulée devient cinq fois plus élevée au bout de dix jours et cent fois plus au bout de cent jours. L'addition de 20 % de chlorure de sodium abaisse très sensiblement la résistivité. L'immersion des éprouvettes fait redescendre la résistivité de celles-ci à la valeur de celle du coulis.

En 1952 [6] CALLEJA a pu étudier la résistivité apparente du béton pendant sa prise et a décelé deux minimums correspondant du reste aux discontinuités de la courbe de température (voir fig. 6).

Cet abaissement de la résistivité du béton pendant une longue période de sa prise peut être l'un des facteurs expliquant certaines corrosions rapides que l'on a pu observer dans les ouvrages en béton armé, ce au bout d'une période de quelques mois. On a souvent observé

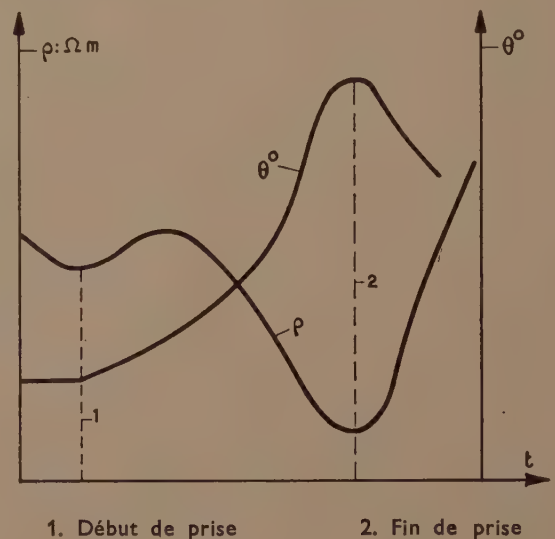


Fig. 6.

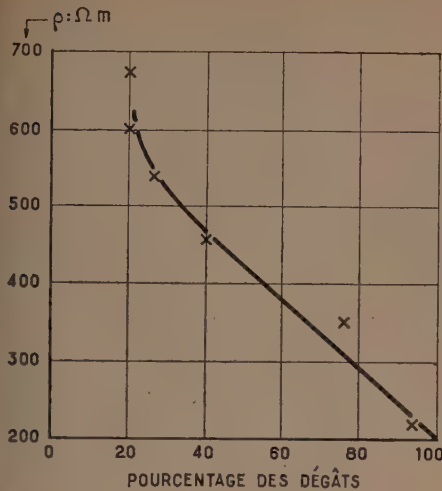


Fig. 7.

que les parties enterrées ou immergées des ouvrages en béton armé prennent pratiquement une valeur de résistivité voisine de celle du milieu ambiant.

Dans une étude relativement récente, R. F. STRAT-FULL [7], rapportant la mise en évidence d'effets macrogalvaniques dans un pont en béton armé, a nettement établi que la probabilité de fissurations du béton était liée à la valeur de la résistivité locale de ce matériau (voir fig. 7).

Il est évident qu'une résistivité basse favorise également le fonctionnement de piles microgalvaniques.

La passivation des fers à béton

Chacun sait que les armatures en acier, très enrouillées au moment de la mise en œuvre sur le chantier, sont parfaitement nettes après la prise à la suite de l'absorption des oxydes ferreux par le liant. C'est que dans un milieu très alcalin, en présence de chaux hydratée, la rouille est transformée en ferrite de calcium qui est un sel blanc

$$2 \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow (\text{FeO})_2 \text{Ca} + 4 \text{H}_2\text{O}. \quad (11)$$

Une réaction analogue peut du reste s'accomplir en présence de CaO .

On remarquera que dans les régions cathodiques il y a réduction de la rouille



et formation d'un hydroxyde faiblement soluble et incolore. Par la suite les armatures sont protégées tant que le milieu reste suffisamment alcalin.

Le potentiel électrochimique du fer dans le béton est de $-0,1 \text{ V}$ à $-0,2 \text{ V}$ suivant que ce dernier est compact ou perméable. Notons que le pH des ciments usuels est compris entre 11 et 12,5. Dans ces conditions l'acier dans le béton a toutes les chances d'être passivé, à la condition que le rH soit également suffisant (milieu suffisamment oxydant).

Par définition on a la relation

$$\text{rH} = 2 \text{pH} + 33,3 E_{\text{Pt}} \quad (12)$$

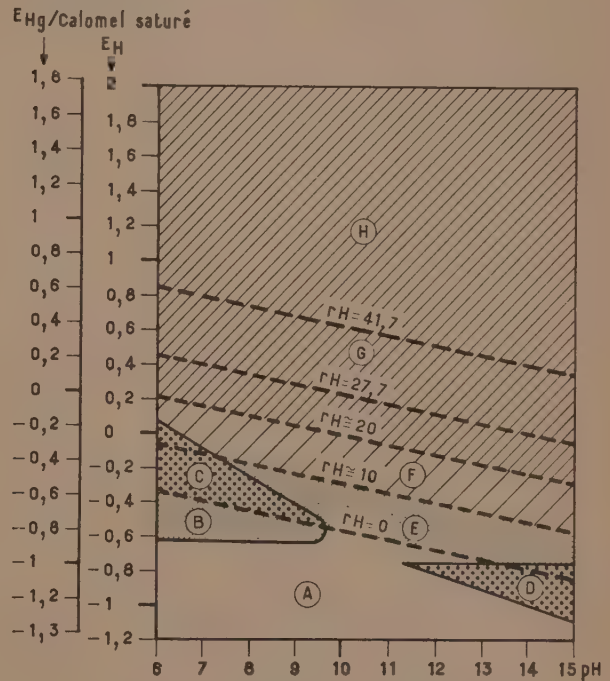
E_{Pt} étant la différence de potentiel mesurée au moyen d'une électrode impolarisable au platine.

Plusieurs auteurs G. DECHAUX et E. SEGOL [8], J. FRASCH, [9] etc... ont récemment attiré l'attention sur cette nécessité de réelle oxydation, chimique ou par apport direct d'oxygène, pour le maintien de la passivation dans un milieu alcalin. On doit avoir la relation

$$2 \text{pH} + \text{rH} \geq 48, \quad (13)$$

pour obtenir une passivation du fer en eau de mer (milieu tamponné pH = 8,5).

En fait la passivation de l'acier dans le béton est un phénomène complexe qui présente des frontières assez floues (voir fig. 8). Ce diagramme, où l'on trouvera une terminologie que nous empruntons à plusieurs auteurs,



- Zones :
- A. — Immunité du Fe (dégagement d'hydrogène) Fe « sur-actif ».
 - B. — Fe « actif ». Dissolution du Fe sans rouille. Sels de Fe incolores, pas assez de O_2 .
 - C. — Fe « actif ». Corrosion avec rouille.
 - D. — Fe « actif ». Corrosion « caustique » (formation de ferrites).
 - E. — Fe « sous-actif ». Possibilité de rouille généralisée.
 - F. — Fe « sous-passif ». Possibilité d'oxydation rapide : piqûres ou auto protection.
 - G. — Fe « passif ». Passivation probable.
 - H. — Au-dessus de $\text{rH} \approx 50$ le Fe peut redevenir « actif » mais en milieu très fortement oxydant.

Fig. 8.

dont M. FRASCH, pas plus que les diagrammes de M. POURBAIX des fig. 4 et fig. 5, ne doivent pas être pris en considération dans un sens trop absolu. Dans tous ces diagrammes $E_H = f(\text{pH})$ d'équilibre d'oxydo-réduction les différentes zones représentent des possibilités sinon des probabilités pour que telle ou telle réaction ait lieu et tel précipité se dépose. Cependant ces diagrammes sont un guide précieux pour le spécialiste qui, sur place, au moyen d'un appareillage approprié enrichit sa laborieuse enquête de facteurs nouveaux. Lors de très nombreuses mesures réalisées sur des armatures en place nous avons toujours mesuré des potentiels E de l'ordre de ceux indiqués plus haut, exceptionnellement $-0,4$ V.

Or le potentiel du fer en milieu basique et désaéré devrait être de l'ordre de -1 V. Comme il n'atteint pratiquement jamais cette valeur et que le pH du béton est de 11,5 à 12,5 on est conduit à penser que l'aération du milieu alcalin entourant les aciers est plus importante qu'on ne peut le supposer pour la conservation des aciers. R.M. BERTHIER [10] appelle *pseudo-potential* de passivation le potentiel que l'on mesure sur un fer à béton avec une électrode impolarisable, et croit qu'il correspond moins à une réaction thermodynamique qu'au frottement solide des ions lors de la traversée de la couche oxydée initialement adsorbée.

On a beaucoup discuté sur l'influence de différents sels pouvant être contenus dans le liant, soit qu'ils proviennent de la fabrication du ciment, tels que l'anhydride sulfurique (SO_4Ca) des Portland, le gypse, le sulfure de manganèse des laitiers, soit qu'ils aient été ajoutés intentionnellement comme activants de prise (Cl_2Ca , SO_4Na , NaCl), soit encore qu'ils viennent de l'eau de gâchage.

Pratiquement il semble que la plupart des sels dangereux sont bloqués, au cours de la prise, sous forme de sulfo ou chloro-aluminates de chaux.

Bien entendu si, à la suite de délavages systématiques, tels que ceux que nous avons pu observer dans des zones de manège sur des bétons périodiquement immergés, il y a réellement entraînement systématique de la chaux libre et de la chaux liée, on peut voir le pH du béton évoluer vers des valeurs de l'ordre de 8 à 7. Des anions dangereux pour les aciers peuvent être alors libérés. Le potentiel E des aciers dans un tel milieu est très différent (de l'ordre de $-0,5$ V) de celui dans un milieu alcalin et un champ électrique peut s'établir entre régions cathodiques et anodiques (celles-ci davantage électro négatives). Si la résistivité du béton est suffisamment basse et si le rapport : $\frac{\text{surface plages cathodiques}}{\text{surface plages anodiques}}$ est assez important des corrosions galvaniques sévères peuvent affecter les aciers dans les zones de faible pH. Dans le cas le plus fréquent réunissant ces conditions (avec $\frac{S_c}{S_a}$ modéré)

il se forme de la rouille qui s'hydrate et foisonne exerçant des pressions importantes au sein du béton jusqu'à éclatement. C'est un type de corrosion qui est relativement fréquent avec les aciers voisins de la surface des ouvrages. Aux U.S.A. la règle des 2 *pouces*, soit 5 cm environ est prescrite surtout pour les ouvrages comprenant des fondations au voisinage de la mer.

Corrélativement il peut y avoir des régions où le potentiel E de l'acier, joint aux conditions de pH et de rH

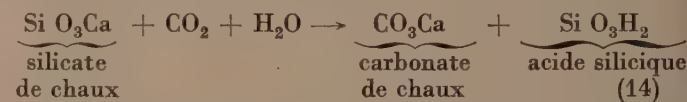
conduit à une dissolution ionique du fer sans rouille. A l'examen on voit les aciers nets, aucune trace d'oxydes dans le béton et cependant des amincissements notables, parfois spectaculaires, des armatures.

A l'opposé des cas envisagés ci-dessus on observe, quoique plus rarement, la corrosion *caustique* du fer. Pour quelques raisons, l'alcalinité du béton s'est accrue localement (pH atteignant 13 ou 14), l'acier étant maintenu à un potentiel suffisamment électro-négatif ($-0,8$ V à -1 V). Thermodynamiquement c'est un domaine où des anions $[\text{FeO}_2 \text{H}^{(-)}]$ peuvent se former au détriment de cations Fe^{+++} (formation de ferrites). Il convient de ne jamais oublier que le béton lui-même peut être attaqué, altéré par des agents extérieurs (pluies, eaux de lavage, eaux d'imprégnation), et voir son alcalinité, sa cohésion compromises, la corrosion des aciers n'étant plus désormais qu'une conséquence.

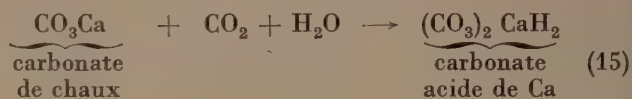
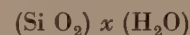
Nous rappellerons pour mémoire :

1° Qu'une eau douce ($\text{HT} \leq 6$) conduit à la « lixiviation » du ciment (le ciment laitier se délitant cependant vingt fois moins que le Portland).

Le CO_2 dissous (eaux douces, parfois eau de mer) attaque le ciment suivant le mécanisme :



ce dernier terme se présentant sous forme colloïdale



tant que le CO_2 est présent, ce carbonate est stable mais si la pression de CO_2 baisse, il se forme de la calcite (c'est le mécanisme de formation des stalactites; l'eau a dans ces conditions un pouvoir *incrétant*).

2° Qu'une eau séléniteuse, riche en sulfate SO_4Ca et SO_4Mg forme des sels de Candlot avec les aluminates ce qui provoque des gonflements.

3° que l'eau de mer, qui contient 27 g/l de Na Cl et 4 g/l de sulfates, augmente la solubilité de la chaux mais que la diffusion de celle-ci vers l'extérieur du béton favorise la formation d'une pellicule protectrice de calcite.

En effet, avec excès, le carbonate de chaux transforme l'acide silicique du béton en CaO (SiO_2) x silicate de chaux hypersilicaté (la réaction (14) fonctionne à rebours).

4° Qu'une eau contenant des acides minéraux ou humiques (eaux résiduelles) conduit à la formation d' H_2S puis de sulfo-aluminates solubles.

5° Qu'une eau contenant des bases alcalines attaque les ciments alumineux en formant des aluminates solubles.

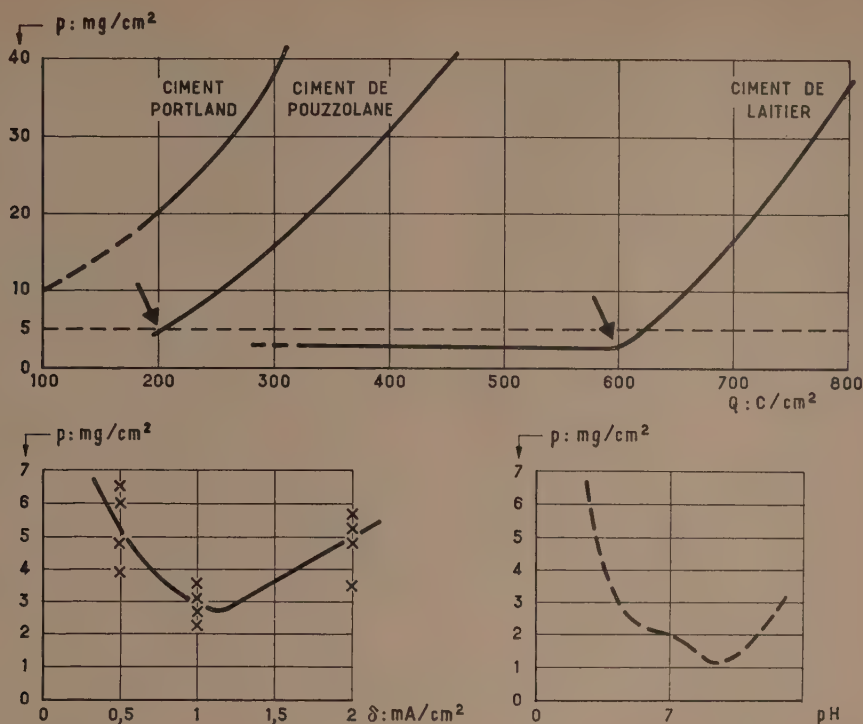


Fig. 9.

Situation « anodique » des fers à béton.

Nous signalerons d'abord les résultats assez récents obtenus par M. MARACHINI et C. GINNARI [11] sur la corrosion anodique du fer dans le béton armé. Ces auteurs ont réalisé des essais sur plusieurs types de ciments avec ou sans additions de chlorures.

Pour toutes les éprouvettes ($S = 30 \text{ cm}^2$) à toute corrosion accusant une perte de poids supérieure à 5 mg/cm^2 correspondait systématiquement une fissuration du béton. Les ruptures se produisent pour une certaine quantité d'électricité Q dépendant de la nature du ciment :

- 600 C/cm^2 pour un ciment de haut fourneau
- 200 C/cm^2 pour un béton au Pouzzolane
- $< 100 \text{ C/cm}^2$ pour un béton Portland.

Il y a un effet important des chlorures à partir d'une addition de 3% (en ions $\text{Cl}^{(-)}$) et neutralisation de cet effet avec apport complémentaire de 14% (en ions $\text{PO}_4^{(-3)}$) (à partir de $\text{Na}_2 \text{HPO}_4$). Étudiant ensuite l'influence de la densité de courant anodique, ces auteurs ont obtenu un minimum dans la variation du poids de fer perdu rapporté à 1000 C (voir fig. 9). Rapprochant cette courbe de celle bien connue de la perte de poids du Fe en fonction du pH, ils suggèrent que le béton présente un certain effet tampon, autrement dit qu'il s'oppose, dans un certain domaine, aux variations du pH local.

L'étude plus ancienne de G. M. MACEE [11 bis] sur le comportement anodique des fers à béton est utile à rappeler car elle a établi que pour une certaine densité de courant il se produit une fissuration radiale du béton autour

des armatures et que cette fissuration est due à l'expansion de l'oxyde de fer hydraté (goëthite, ou lépidocrocite $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Cette étude a établi qu'une armature de béton fortement positive par rapport au milieu environnant attire systématiquement vers elle tous les anions. Notamment, si le terrain environnant contient des sulfates, les ions $\text{SO}_4^{(-2)}$ pénètrent dans le béton, guidés par le champ électrique et réagissent avec les aluminates de chaux (formation de sulfo-aluminates de calcium) et avec l'hydroxyde de calcium (formation de gypse). De sorte qu'un béton résistant aux sulfates peut, dans certains cas, se détériorer par la formation de gypse.

Situation « cathodique » des fers à béton.

D'autres études ont été entreprises sur la sensibilité du béton au voisinage des cathodes et, en général, au passage d'un courant électrique. En 1948-1949 G. MOLE [12], opérant sous courant continu (échantillon cathode) établissait des affaiblissements du liant, une sorte de décohesion, en fonction de la densité du courant. Cet auteur attribuait cet effet à la formation d'un dépôt de carbonate de calcium à l'interface armature/béton.

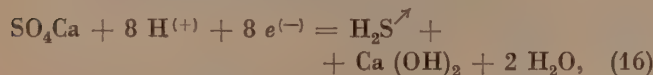
Mais on peut remarquer également qu'on obtenait, sans doute, localement, des suppressions d'hydrogène. De 2 à $20 \mu\text{A/cm}^2$ la résistance du liant est déjà affaiblie. De 20 à $200 \mu\text{A/cm}^2$ l'affaiblissement est déjà de 35% . Au-dessus de 2 mA/cm^2 on constate une réelle décohesion. Ces résultats montrent combien on doit être prudent lorsqu'on cherche à protéger les armatures du béton armé au moyen d'une protection cathodique.

La corrosion bactérienne.

Aciers du béton et le béton lui-même peuvent être encore exposés au danger microbien (aux USA on dit danger des *Autotrophes*). Les bactéries sont tantôt anaérobies, tantôt aérobies.

Dans la première catégorie on trouve la bactérie sulforéductrice *Vibrio desulfanicans*. Son action se fait en deux temps :

a) réduction cathodique des sulfates



b) attaque anodique du fer



le sulfure de fer est cathodique par rapport au fer et la corrosion du fer est ainsi entretenue. Cette bactérie mesure environ un micron. Son activité s'arrête dès que le taux d'ions $(\text{OH}^{(-)})$ disponible est suffisant ($\text{pH} \geq 9$). Pas de danger dans un bon béton alcalin ($\text{pH} = 11$ à 12).

Une autre bactérie anaérobie attaque directement le fer en produisant du méthane. Cela se passe en présence de CO_2 dissous



(activité entre $\text{pH} 6$ et $\text{pH} 8$ à $8,7$).

Eclatements de béton par la rouille des armatures dans des régions de fortes pluies riches en CO_2 dissous.

Enfin le *micrococcus denitrificans* réduit cathodiquement les nitrates en nitrites puis éventuellement en ammoniacque



Dans la seconde catégorie la bactérie du fer entretient un haut gradient de concentration en oxygène entre l'interface fer et la solution (on aboutit à la tuberculation du fer).

J. H. RIGDON et C. W. BEARDSLEY [13] ont rapporté récemment le mécanisme des fortes attaques du béton (rencontrées surtout dans les systèmes d'égouts) dues au *Thiobacille* aérobie.

L'action se ferait en quatre temps.

a) réduction des sulfates et décomposition des protéines conduisant à de forts dégagements d' H_2S ;

b) enrichissement en H_2S de l'atmosphère locale;

c) oxydation de l' H_2S par la bactérie sulfureuse et formation de SO_4H_2

d) attaque et destruction du ciment par l' SO_4H_2 .

Dans les régions marécageuses ces usines vivantes d'acide sulfurique ont détruit des ouvrages en béton importants (culées de ponts) notamment en Australie.

Les méthodes de lutte contre le danger microbien consistent à rendre impossible l'une des réactions, sinon

la première, du cycle d'intervention (exemple : accroissement systématique du pH et égalisation des potentiels E par la protection cathodique, désaération pour les aérobies etc...)

Emploi d'inhibiteurs de la corrosion.

On a souvent discuté sur l'utilité ou les dangers d'introduire tels sels dans la composition du béton.

En milieu aqueux, ces sels se décomposent en « anions » et « cations » dont l'effet est, suivant le cas, d'accélérer ou d'inhiber la corrosion des aciers.

Les ions envisagés agissent sur les polarisations, respectivement cathodique et anodique, et c'est affaire d'électrochimiste dans la mesure où l'on observe l'évolution des potentiels d'oxydo-réduction et de chimiste puisqu'on envisage les réactions secondaires aux électrodes, la solubilité des produits etc...

Incontestablement, l'emploi d'inhibiteurs de la corrosion dans le béton armé est l'un des moyens légitimes de la lutte contre la corrosion.

Dangers de corrosion pour les armatures du béton armé.

Il résulte de tout ce qui a été exposé plus haut que les armatures du béton armé réalisées en acier doux normalisé ne courent réellement pas de danger lorsque le béton armé est suffisamment alcalin et compact, et qu'il n'est soumis à aucune action agressive de la part d'un milieu aqueux, y compris durant sa propre prise. En effet, nous avons vu que pendant celle-ci, la résistivité du béton peut être assez faible pour que des piles de concentration ou piles galvaniques ou encore des piles d'aération différentielle fonctionnent avec quelque efficacité.

Technologiquement, on évitera soigneusement au sein du béton tout contact direct entre métaux différents, entre métaux travaillant à des taux mécaniques différents ou encore entre aciers de nuance différente.

Si l'ouvrage est immergé, tout ou partie, ou enterré dans un sol suffisamment humide, la résistivité du béton peut tomber à un niveau où les piles décrites ci-dessus peuvent de nouveau fonctionner.

Lorsque les ouvrages sont ainsi soumis à l'action d'un milieu agressif d'inhibition, et lorsque pour une raison quelconque (altération chimique du béton, action microbienne) de la rouille, du sel de Candlot, se forment au sein du béton, celui-ci se gonfle et se fissure créant des zones d'hétérogénéité qui à leur tour donneront lieu à des mécanismes de corrosion renouvelés jusqu'à la destruction complète de l'ouvrage.

Lorsque la fissuration est réalisée, divers cas peuvent se présenter dont l'extrême est celui qui correspond aux fissures de fuite d'un barrage en béton compact.

Dans ce cas, si l'eau de la retenue est par exemple au $\text{pH} = 5$, on trouve un $\text{pH} = 11$ dans une fissure non encore débouchée vers le dos du barrage. L'eau travaille en dissolvant la chaux. On a trouvé au barrage de Gnourre

dans les Pyrénées 3,7 mg de CaO au litre dans la retenue et 111 mg de CaO au litre en prélevant au droit d'une fuite.

A ce point de vue on voit combien il faut veiller à éviter les fissurations de retrait dans les ouvrages immergés ou enterrés.

Ajoutons que l'on préconise parfois l'utilisation de l'eau de chaux comme eau de gâchage pour enrichir l'alcalinité du béton. Mais il faut arriver à un mélange très homogène (attention à la corrosion *caustique* des armatures).

Ne pas oublier que si l'on peut gâcher à l'eau de mer du Portland destiné à un ouvrage terrestre, il convient de gâcher à l'eau douce et sans accélérateurs de prise des

Portland prise mer et les ciments alumineux, lorsqu'il s'agit d'un ouvrage à la mer.

Dans certaines conditions nous avons été amené à formuler une autre hypothèse relative à un mécanisme de corrosion.

Un cycle de température s'établit, joint à un cycle d'état hygrométrique qui produit le point de rosée juste à l'interface des armatures dans un béton poreux. Au bout d'un certain nombre de cycles, l'alcalinité baisse et la rouille apparaît et foisonne jusqu'à l'éclatement de la chape.

TROISIÈME PARTIE

ÉTUDE DE LA CORROSION DES ARMATURES DE PRÉCONTRAINTÉ

Cas des armatures de précontrainte.

Par définition, les armatures de précontrainte sont des barres ou des câbles d'acier de nuance dure, travaillant constamment à un taux élevé. Suivant le cas, ces armatures sont ou bien noyées dans la masse du béton, ou bien disposées dans des canaux aménagés à cet effet dans le béton, souvent sous tube de clinquant.

Cette sorte d'armatures, de nuance noble, est rarement sujette à la rouille ordinaire, mais nous avons pu observer trois aspects différents de la corrosion :

a) dissolution anodique sans rouille. Les conditions de potentiel de pH et de rH sont telles que les ions fer quittent les plages anodiques et se dispersent dans le milieu sans laisser de traces visibles ;

b) corrosion intergranulaire « sous contrainte ».

Depuis longtemps on connaissait la corrosion intergranulaire de l'acier à température élevée ($> 80^{\circ}\text{C}$), baignant dans un milieu très alcalin (15 à 45 % d'NaOH) et soumis à des contraintes voisines de la limite élastique. Dans ces conditions on est privé d'oxygène. L'attaque anodique par micropiles de concentration semble suivre les contours des grains, où l'énergie est supérieure à celle des cristaux de ferrite. On a également étudié la corrosion intergranulaire sous *contrainte* en présence d'hydrogène sulfuré.

Les aciers à structure martensitique, de dureté Brinell $H > 228$, se fissurent très rapidement dans ces conditions dès que l'on dépasse la limite élastique.

L' H_2S réagit directement sur le fer en formant des micropiles



l'agent corrodant est ici le soufre (l'hydrogène naissant peut du reste diffuser dans le réseau cristallin).

Selon la loi SIEVERTS, la *fugacité* de l'hydrogène dissous varie avec \sqrt{p} , la pression favorisant donc l'absorption. A moins d'être soumis à un revenu ($> 600^{\circ}\text{C}$) les aciers à plus de 0,3 % C se fissurent après trempe. Un écrouissage après revenu rend de nouveau l'acier fragile.

A plus de 0,1 % C des additions de Mn, Cr, Ni, Mo augmentent la fragilité. De façon plus générale, sont défavorables les présences de phases instables comme l'austénite, la martensite insuffisamment décomposée (exemple : à 500°C) etc...

c) la fragilité due à l'hydrogène naissant.

Si la corrosion sous contrainte était uniquement due à une dissolution rapide du fer par effet de pile, la compensation cathodique aurait été un remède suffisant ⁽¹⁾. Or on a vu dans un certain nombre de cas qu'il n'en était rien.

Des ruptures de fragilité se produisent quelquefois après l'installation d'une protection cathodique. La raison en est, comme l'a bien spécifié E. HERZOG [14], que la protection cathodique ne peut s'opposer à la diffusion de l'hydrogène atomique. A notre avis cependant, la question mérite un examen approfondi et une *surveillance* cathodique des ouvrages en béton armé précontraint peut être souvent, avec évidemment beaucoup de prudence, une excellente solution.

Le champ compensateur général cathodique permet en effet d'introduire de nombreux mécanismes secondaires tels que l'électrophorèse et l'électrocapillarité, et contribuer avantageusement au colmatage des microfissurations.

La question de l'influence éventuelle du champ cathodique sur la *fragilisation* de l'acier doit être tranchée à la lumière des théories de E. DARMOIS et G. DARMOIS-SUTRA [15] sur l'adsorption des ions $\text{H}^{(+)}$ sur la cathode.

⁽¹⁾ Des essais ont montré, en revanche, que l'application d'une tension anodique aggravait la corrosion intergranulaire sous contrainte.

D'après cette théorie les protons sont *encagés* entre quatre molécules d'eau. Comme leur champ électrique est considérable ils s'adsorbent très bien même lorsqu'ils sont hydratés. La *surtension* de l'hydrogène et la loi de Tafel ont pu être retrouvées à la lumière de ces idées.

Lorsqu'un proton pénètre dans le métal, il se combine avec un électron libre pour former un atome d'hydrogène. Remarquons que cette hypothèse de la formation de l'hydrogène naissant à l'intérieur du métal semble beaucoup plus plausible que celle qui exigerait une *sortie à froid* de l'électron pour une formation hors du métal. L'hydrogène atomique s'accumule dans les *dislocations* en augmentant les contraintes internes du métal.

Des procédés modernes permettent de doser exactement l'hydrogène contenu dans une éprouvette métallique. On a ainsi trouvé jusqu'à 10 cm³ d'hydrogène (soit 4 mg) dans 100 g de fer, ce qui correspond à une surpression interne considérable.

Les ruptures d'armatures de précontrainte en acier se produisent sans striction et, dans certain cas, ne présentent aucune trace de microfissuration au microscope.

Nous avons de nombreuses raisons de croire que la fragilité de l'acier dur est en rapport avec la densité de courant à la cathode.

La figure 10 représente les résultats d'un essai de fragilisation par courant électrique continu (cathode), pendant quarante minutes et à différentes densités, effectué sur des éprouvettes d'acier à ressort [16]. Il s'agissait d'un acier à 0,7 % de C.

Dans une publication plus récente, A. E. SCHUETZ et W. D. ROBERTSON [17] ont rapporté des résultats semblables dans une étude très approfondie sur la fragilité à l'hydrogène d'aciers de diverses nuances. La figure 11 est

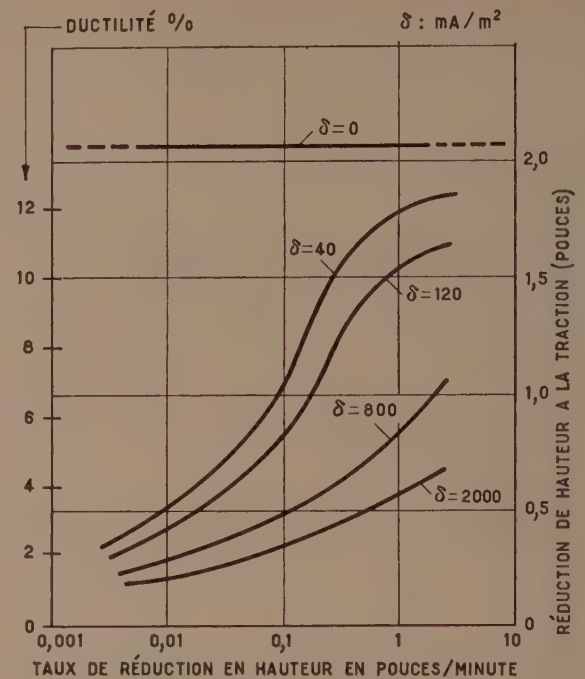


Fig. 10.

relative à des essais de rupture sous tension constante et densité de courant (cathode) constante effectués sur éprouvette à 10 % Ni — Fe ferrite. Les auteurs inhibaient la corrosion au moyen de phosphore dissous dans du bisulfure de carbone.

Ces auteurs admettent que la concentration en hydrogène ait la forme de la loi de Tafel.

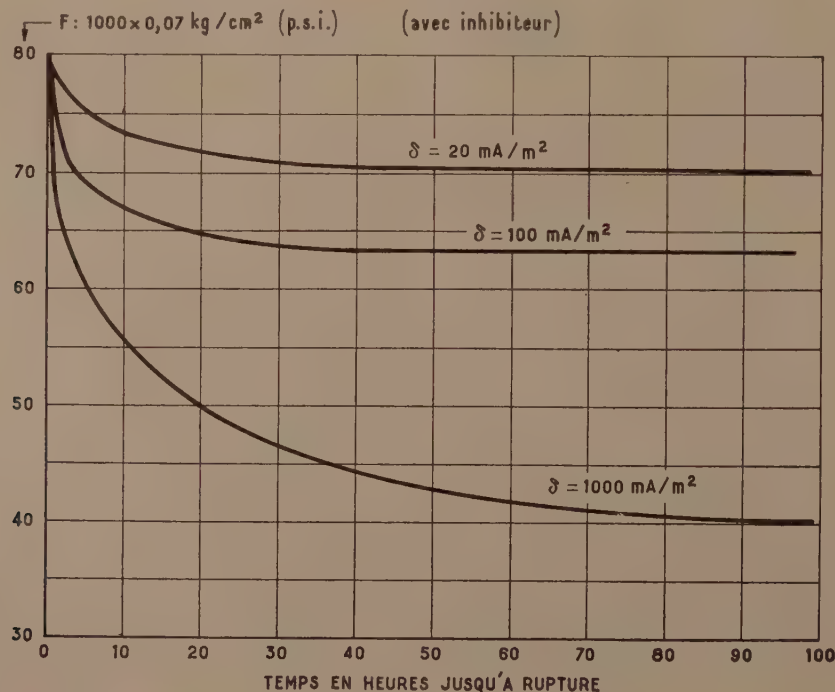


Fig. 11.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Lorsqu'on a achevé de couler un ouvrage en béton armé, les spécialistes s'en vont avec bonne conscience.

Mais alors commence tout un travail thermodynamique interne, susceptible de présenter des hétérogénéités plus ou moins fixes dans l'espace et dans le temps; situation éminemment aléatoire, comme le fait remarquer à juste titre M. BERTHIER, qui, la plupart du temps aboutit à une stabilisation générale, et qui, dans certains cas extrêmes, compromet la tenue des armatures.

Moyennant beaucoup de prudence, l'électro-chimiste peut, dans une certaine mesure, *ausculter* l'ouvrage et déduire de ses relevés la situation électro-chimique probable des armatures du béton.

L'électro-chimiste est particulièrement à l'aise dans le cas où l'ouvrage est immergé ou enterré dans un sol suffisamment humide. Dans ces cas on établit facilement de véritables cartes géophysiques de l'ouvrage situant avec netteté les zones anodiques et les zones cathodiques. De telles cartes sont des témoins un peu à la manière des papiers réactifs des chimistes. Elles montrent que la stabilisation n'a pas eu lieu, qu'à la suite de *dépolarisations entretenues*, l'ouvrage est le siège de réactions chimiques, et de circulation de courants électriques internes.

A certains domaines correspond alors une perte de métal et si l'on aboutit à de la rouille, l'expansion de celle-ci risque de fissurer ou de faire éclater le béton.

Il a été établi que la situation *normale* des armatures en acier était la *passivité*. Protéger les armatures contre la corrosion c'est essentiellement s'arranger pour que les conditions chimiques et électro-chimiques de la passivité soient constamment présentes.

Lorsque les conditions physiques commandant l'ouvrage sont telles qu'une hétérogénéité apparaît nécessairement entre différentes parties en ce qui concerne la situation des aciers, le danger peut devenir grand car certaines armatures peuvent rouiller alors que d'autres voient un *ressaut* de courant, d'autres enfin la *fragilisation* par l'hydrogène. La difficulté est alors due au fait qu'un ouvrage en

béton armé est par principe une construction peu homogène, à parties internes inaccessibles, aux contacts électriques aberrants.

En technologie pratique on fera surtout du béton excellent et compact, on respectera les diverses règles mises au point par les spécialistes.

Lorsque l'ouvrage est immergé ou enterré dans un sol agressif, on peut évidemment songer à la *protection cathodique*.

Celle-ci consiste à amener artificiellement, au moyen d'une source de courant, toutes les armatures à l'état d'*immunité*.

Mais on aperçoit tout de suite une difficulté. De toute évidence il faut, dans ce cas, que les aciers du béton soient électriquement *soudés* les uns aux autres. Technologiquement cette équipotentialité des armatures est possible, puisqu'on l'a réalisée pour les aciers des fondations des centrales et des grands postes de transformation électriques.

Cette condition est plus difficile à obtenir sur les ouvrages existants. Généralement on se contente alors de *drainages* partiels ou encore de *surveillances cathodiques* modérées.

Quoiqu'il en soit il est recommandé d'aborder la *protection cathodique* des ouvrages en béton armé avec beaucoup de prudence.

On se rappellera enfin que la protection cathodique ne peut pas arrêter la diffusion des protons et, partant, de l'hydrogène naissant à l'intérieur de l'acier, ce qui met en péril plus particulièrement les armatures de précontrainte réalisées en aciers de nuance dure et travaillant au voisinage de la limite élastique. Dans ces cas on pèsera soigneusement les *pour* et les *contre* avant de décider une protection cathodique. En aucun cas, celle-ci ne devra contribuer à augmenter les probabilités de diffusion d'hydrogène naissant à l'intérieur d'un métal travaillant au voisinage de la limite élastique. Mais on pourra profiter de certaines propriétés secondaires de la *surveillance cathodique* telles que la tendance à l'assèchement et le colmatage des microfissures aux électrodes.

ANNEXE

A titre documentaire et afin de rappeler les nombreux *facteurs de corrosion* régissant la *pathologie* de l'acier, nous publions ci-après un *tableau des facteurs de corrosion* établi par le Professeur G. CHAUDRON et complété par D. PETROCOKINO.

TABLEAU DES FACTEURS DE CORROSION

MILIEU AGRESSIF	MÉTAL EMPLOYÉ (MÉTALLURGIE)	CONDITIONS D'EMPLOI	VARIATIONS DANS LE TEMPS
1. Nature chimique	21. Nature & composition chimique (alliages)	31. Etat de surface	41. Cycle de composition
2. Impuretés	22. Impuretés	32. Rayon de courbure	42. Variation des impuretés
3. Concentration activité chimique (ions)	23. Traitement thermique subi	33. Mouvement rotatif par rapport au milieu agressif 33 ^{bis} . Orientation par rapport à verticale ou p. r. aux courants liquides.	43. Variat. de concentration ou d'activité ionique
4. Présence de colloïdes	24. Structure	34. Rapport $\frac{\text{surf. d'attaque}}{\text{vol. sol. agres.}}$	44. Variat. de composition colloïdale
5. pH	25. Traitement mécanique subi — coulée — traitements — écrouissage	35. Rapport $\frac{\text{surf. cathode}}{\text{surf. anode}}$	45. Variat. d'activité bactérienne
6. rH	26. Tensions internes latentes	36. Métaux & alliages en contact avec la pièce (couples galvaniques)	46. Variat. du pH
7. Température	27. Conductibilité électrique (ou résistivité)	37. Efforts appliqués (voir 26).	47. Variat. de teneur en oxygène (ou de composition atmosphérique)
8. Pression	28. Propriétés électriques des surfaces (conduct. ou semi-conducteur électronique) notamment des surfaces oxydées	38. Procédés d'assemblage — soudure — brasure — rivetage — joints	48. Cycle de températures
9. Agitation mouvement		39. Emploi d'inhibiteurs	49. Cycle de pressions
10. Viscosité		39 ^{bis} . Emploi de revêtements ou traitements surface (voir 31)	50. Variat. des tensions mécaniques
11. Conductibilité électrique (ou résistivité)		39 ^{ter} . Emploi de CHAMP ELECTRIQUE inhibiteur	51. Variat. de revêtements (courbe de vie)
12. Eclairage			52. Variat. du rapport surf. attaquée / volume solution (voir 34)
13. Présence bactéries			53. Variat. du rapport surf. cathode / surf. anode (voir 35.)
14. Présence CHAMP ELECTRIQUE (spontané ou artificiel)			54. Variat. du CHAMP ELECTRIQUE (polarisation) 55. conditions d'entretien

Remarque : Il convient de ne pas confondre le CHAMP ELECTRIQUE inhibiteur introduit artificiellement dans un but de protection, avec le CHAMP ELECTRIQUE spontané, parfois bien plus important que le précédent et que l'on trouve dès qu'il

y a travail de corrosion, mais que l'on perd précisément de vue trop souvent. En corrosion micro-galvanique le champ est tout à fait local, mais il a le caractère de champ général en corrosion macro-galvanique.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] U. R. EVANS. — Précis de corrosion (Traduction G. Dechaux). Dunod 1952.
- [2] D. PETROCOKINO. — Les piles géologiques. Leur rôle dans certains phénomènes de corrosion. *Corrosion et anticorrosion*, 2, n^{os} 2 et 3, 1954, p. 69 et p. 99.
- [3] E. DARMOIS. — Electricité, T.I p. 255, SEDES, Paris 1952.
- [4] M. POURBAIX. — Publication n^o 4 du CEBELCOR, 1953, Bruxelles.
- [5] R. DECOUX et J. BARRÉE. — Circulaire F n^o 3 de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, Paris 1941.
- [6] CALLEJA. — Institut Technique des Constructions en Ciment, Madrid, 1950 et 1952.
(Citée par R. L'HERMITE « Idées actuelles sur la Technologie du Béton, I.T.B.T.P., Paris 1955).
- [7] R. F. STRATFULL. — The corrosion of Steel in a Reinforced Concrete Bridge. *Corrosion*, 13, n^o 3, mars 1957.
- [8] G. DECHAUX et E. SEGOL. — Corrosion et inhibition de l'acier peint immergé dans l'eau de mer. *Peintures, Pigments, Vernis*, vol. 31, n^o 5, p. 436, 1955.
- [9] J. FRASCH. — Inhibition en milieu aqueux et passivation en résultant. *Corrosion et Anticorrosion*, 3, n^o 6, 281, 1955.
- [10] R. M. BERTHIER. — La corrosion des armatures dans les bétons et en particulier dans les bétons de ciment de laitier, et les procédés préventifs *Silicates industriels*, p. 329, 1952.
- [11] M. MARAGHINI et C. GINNARI. — Corrosione anodica del ferro nel cemento armato. *La Ricerca Scientifica*, 27, n^o 5, p. 1500, 1957.
- [11] bis G. M. MAGEE. — Corrosion électrolytique de l'acier dans le béton. *Corrosion (USA)*, vol. 5, nov. 1949.
- [12] G. MOLE. — Electrolysis and The Bond Strength of Reinforced Concrete. The Effect of Direct Current. Rapports 0/T2 et 0/T6 du British Electrical and Allied Industries Research Association. Leatherhead, Surrey, GB, 1948 et 1949.
- [13] J. H. RIGDON et C.W. BEARDSLEY. — « Corrosion of Concrete by Autotrophes ». *Corrosion*, 14, n^o 4, p. 60, 1958.
- [14] E. HERZOG. — La corrosion fissurante sous tension des aciers doux et des aciers faiblement alliés. *Corrosion et Anticorrosion*, 2, n^{os} 1-2-3, pp. 3, 57, 91, 1954.
- [15] G. DARMOIS-SUTRA et E. DARMOIS, C. R. Ac. Sc. 222, p. 1286, 1946. 226, p. 177, 1948.
- [16] The Engineer, 20 nov. 1956 (résumé).
Iron Age, 4 oct. 1956, p. 98.
11 oct. 1956, p. 102.
- [17] Arnold E. SCHUETZ et W. D. ROBERTSON. — Publication NACE 57-17. « Hydrogen Absorption, Embrittlement and Fracture of Steel. *Corrosion*, 13, n^o 7, 1957, p. 33.

CONCLUSIONS DU PRÉSIDENT

Je serai certainement votre interprète à tous en remerciant le Dr Petrocokino pour son exposé si intéressant et si clair. Et comme j'ai vu qu'il était obligé, à cause du peu de temps dont il disposait, de passer très rapidement sur certains sujets. j'émet le vœu qu'il veuille bien les rétablir dans leur intégralité pour les Annales.

Nous allons donner la parole à ceux d'entre vous qui désireraient entamer une discussion.

DISCUSSION

M. LAFUMA. — Monsieur le Président, je n'avais pas du tout l'intention de demander la parole, mais puisque vous m'y invitez, je dirai quelques mots.

J'ai écouté avec beaucoup d'intérêt la conférence de M. PETROCOKINO parce que, il y a un peu plus d'un an, mes amis suisses de Zürich m'avaient demandé de faire un exposé sur le comportement du béton dans différentes atmosphères : objets en béton, béton armé et même béton précontraint. La corrosion des armatures entrainait donc dans le sujet. Je dois dire que la différence des deux points de vue me rappelle inévitablement une réflexion d'un de mes fils qui est docteur en médecine. Mon fils prétend que si un malade va voir un cardiologue, le docteur lui trouve une maladie de cœur; si le même malade va voir un neurologue, celui-ci lui trouve une maladie nerveuse; enfin s'il va chez un pneumologue, il est poitrinaire.

Quand les Suisses m'ont demandé de faire un exposé, ils se sont adressés à un chimiste. Eh bien, j'ai trouvé que la corrosion des armatures était une maladie chimique.

Aujourd'hui nous consultons un électro-chimiste; la corrosion est une maladie électro-chimique. Alors, comme je ne suis pas très versé dans l'électro-chimie, j'avoue que je n'ose pas me lancer dans des discussions parce que, autant je suis chimiste, autant le point de vue électro-chimique m'échappe.

Je dirai tout de même qu'il y a une chose qui m'inquiète un petit peu : on a l'impression que l'électro-chimie nous explique bien pourquoi les armatures du béton se corrodent, et on se demande plutôt pourquoi elles ne se corroderaient pas; quand on écoute les explications de l'électro-chimiste on a l'impression que les armatures doivent toujours se corroder et que si elles ne se corrodent pas, c'est presque contre les règles de l'électro-chimie.

M. LE PRÉSIDENT. — Voulez-vous répondre quelques mots ?

M. PETROCOKINO. — Justement, je profite de cette intervention de M. LAFUMA, pour bien préciser que si le leitmotiv de ma conférence a été d'ordre électro-chimique, nous avons vu également que cette électro-chimie a ses limites. L'électro-chimie s'applique dans tous les cas où l'on est dans son domaine, c'est-à-dire où il y a des circulations de courants, des piles microscopiques, ou des piles à très grande échelle et là où ces courants sont mesurables on peut prévoir et calculer la quantité de métal qui va être détruite. C'est dans ces domaines-là que je me place, car il y en a d'autres certainement, des réactions électro-chimiques secondaires et même des réactions chimiques pures.

M. LAFUMA. — Je voudrais souligner un point. Vous nous avez projeté tout à l'heure un graphique obtenu par les Américains et relatif à un pont en béton armé. La corrosion était d'autant moins nette que la résistivité était plus haute dans les parties de béton; cela me tracasse un peu, parce qu'un béton armé complètement immergé présente une basse résistivité; donc il devrait se corroder beaucoup plus facilement ? Or, dans la plupart des cas on constate que le béton franchement immergé se comporte admirablement bien au point de vue armatures.

M. PETROCOKINO. — L'électro-chimie a toujours réponse à tout. Cela vient du diagramme $E_H = f(\text{pH})$. Ou bien vous êtes dans un état d'immunité et vous avez précisément cela, vous avez des courants qui circulent et vous êtes immunisé, par exemple, aux cathodes et vous êtes passivé à l'anode; peu à peu la pile s'arrête de débiter; il y a une stabilisation qui se produit et qui est heureuse, d'ailleurs, parce que, justement, dans la plupart des cas tout se passe bien.

M. LAFUMA. — Je voudrais corriger la manière un peu humoristique dont j'ai présenté les choses. Il est bien certain que le point de vue chimique et le point de vue électro-chimique sont souvent deux manières différentes de dire la même chose. Par conséquent, il ne faut pas être trop surpris des interprétations différentes qu'on peut donner d'un même phénomène.

M. LEBELLE. — Il a été mentionné qu'en Amérique on adopte généralement une épaisseur de deux pouces soit en gros 5 cm pour l'enrobage des aciers.

En fait, la qualité du béton d'enrobage est plus importante que son épaisseur, qui, d'ailleurs, doit être proportionnée à l'importance des pièces.

D'une manière générale, en atmosphère agressive, il convient de prévoir un dosage d'au moins 400 kg de ciment par mètre cube et prendre toutes dispositions utiles pour obtenir un béton compact et éviter la production de nids de cailloux au voisinage des arêtes. Ceux-ci se produisent par défaut d'étanchéité des coffrages au voisinage des arêtes.

Enfin il faut noter que, dans les pièces fléchies, si l'épaisseur d'enrobage est trop grande en regard de la hauteur de section, le béton d'enrobage devient très vulnérable à la fissuration.

M. LAZARD. — Je voudrais poser à l'orateur deux questions d'ordre tout à fait différent.

La première est relative à un phénomène que nous avons cru découvrir concernant la dégradation des ouvrages en béton armé. Le béton semble se dégrader plus facilement du côté des faces exposées au soleil levant. Récemment, dans les Alpes, discutant de dégradations des bétons par le gel, j'étais arrivé à la même conclusion avec mon interlocuteur d'E.D.F. : il semble que les barrages soient plus dégradés dans les zones exposées au soleil levant.

On peut sans doute proposer une explication purement physique : le matin, l'ouvrage est recouvert d'une pellicule d'eau (par exemple la rosée). Les rayons du soleil levant chauffent l'eau qui, se distillant à travers les canalicules du béton, en fait éclater quelques-uns. Le béton est ainsi rendu peu à peu de plus en plus poreux.

Y aurait-il, à votre avis, une explication électro-chimique ?

M. PETROCOKINO. — Peut-être existait-il un régime de pluie, coïncidant avec la direction de l'est ?

M. LAZARD. — Dans la nuit, le béton est recouvert d'une pellicule d'eau; dans l'eau il y a des sels. Je pensais, en vous écoutant, que peut-être l'existence d'un potentiel...

M. PETROCOKINO. — Le facteur température n'est pas un facteur négligeable, il influe sur les potentiels; mais il faut de nouveau admettre que le béton est humide, qu'il conduit l'électricité, tout au moins dans le voisinage des armatures. Autrement, on tombe plutôt dans le cas des réactions purement chimiques.

En revanche, il y a un phénomène que je peux peut-être signaler; c'est une hypothèse que j'ai formulée mais je ne sais pas ce qu'elle vaut; c'est la possibilité d'un effet peut-être d'humidification des armatures dès qu'on atteint le point de rosée sur le fer dans le béton, par effet de cataplasme, si vous voulez. Le béton est un mauvais conducteur de chaleur. J'imagine que, dans certaines conditions peut-être d'échanges de températures, d'échanges thermiques à travers l'ouvrage, entre parties de l'ouvrage, on atteint le point de rosée dans une ambiance suffisamment aérée. Il y a un petit enroulement qui se produit là et après expansion on arrive jusqu'à l'éclatement.

Ce mécanisme est peut-être possible sous certains climats et impossible sous d'autres.

M. LAZARD. — Voici la deuxième question : vous avez parlé de l'influence du gaz carbonique. Il est prouvé par des études récentes américaines qui semblent confirmées par nos laboratoires, que la peau du béton est très carbonatée, alors que l'intérieur l'est moins. Ceci peut-il également expliquer certains phénomènes de corrosion ?

M. PETROCOKINO. — J'ai sauté les développements dans ce domaine et vous trouverez deux ou trois pages sur la question dans mon exposé.

M. CARPENTIER. — Dans une récente conférence, qui avait à peu près le même objet que celle de ce soir, le conférencier avait attiré l'attention des auditeurs sur la nocivité de l'étrépage des armatures de précontrainte par la création d'hétérogénéités qui amènent les différences de potentiel néfastes que vous avez signalées ici et peuvent entraîner des corrosions sous tension.

J'aimerais bien connaître votre point de vue sur ce sujet. Est-ce que vous confirmez aussi la nocivité de l'étrépage ?

M. PETROCOKINO. — Oui, certainement.

M. CARPENTIER. — C'est intéressant parce que cela pourrait nous amener à limiter l'emploi de l'étrépage à froid des aciers de précontrainte.

M. PETROCOKINO. — Il faudrait discuter pour savoir dans quels cas on fait de l'étrépage. Je ne sais pas si c'est une technique très développée dans le béton armé.

M. LE PRÉSIDENT. — Si quelques-uns d'entre vous estimaient que des points importants sont restés dans l'ombre, nous pourrions organiser une séance de discussion comme nous le faisons quelquefois dans des cas particuliers. Vous n'auriez qu'à le préciser tout simplement à l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics.

M. DURIEZ. — Dans le même sens que ce qui a été dit tout à l'heure, mais dans le cas de fatigue, les ouvrages soumis à des vibrations, peuvent se corroder plus rapidement sous l'effet de certains ions agressifs qui ne seraient pas nocifs normalement, mais qui provoquent dans ce cas de la corrosion fissurante. C'est probablement ce qui a conduit les Allemands à normaliser, pour le béton armé et le béton précontraint, des ciments « O. C. », c'est-à-dire sans ion « chlore » (Ohne Chlor) parce qu'ils imputent à l'ion chlore des cas de corrosion, qu'ils généralisent peut-être un peu trop ; on pourrait, sinon, tout aussi bien incriminer d'autres ions acides, tels que l'anion SO_4^{2-} ; ce serait évidemment aller un peu loin.

Mais je crois que c'est surtout dans le cas de la fatigue, c'est-à-dire des alternances d'efforts et de déformations, que se créent dans les armatures des corrosions fissurantes intergranulaires qui se propagent, et qui ont conduit à la ruine certains ouvrages ; mais on ignore si la qualité du béton ne péchait pas par quelque point.

Je crois donc que ce serait aller trop loin que d'interdire l'utilisation de l'ion chlore qui est très utile. Autant interdire les ciments HRI et les super, et on sait bien qu'ils ne corrodent pas l'acier ; les cas de corrosion ne peuvent, à mon avis, provenir que d'une composition ou d'une mise en place défectueuse du béton, avec insuffisance de dosage en ciment. Encore faut-il que ces bétons se trouvent placés dans des milieux qui favorisent la corrosion, tels que l'humidité persistante sans immersion et sans délavages périodiques par les eaux de pluie après des alternances de sécheresse et d'humidification.

Dans tous les cas normaux, qui sont la généralité, il n'y a absolument pas de corrosion ; il ne peut y avoir de corrosion que dans des conditions d'ambiance particulièrement agressive, en même temps que dans des conditions de fatigue par alternances d'efforts, ce qui favorise la corrosion fissurante.

M. PETROCOKINO. — Je suis tout à fait d'accord, c'est un des aspects de la fatigue mécanique qui a ses répercussions dans le langage électro-chimique également.

M. LEVI. — Sur le diagramme qui figure sur le panneau de droite (fig. 8), je vois que les bandes correspondent aux états sous actifs ou sous-passifs sont très étroites. Est-ce que ceci conduit à la conclusion qu'il suffit d'un faible potentiel d'origine tellurique, ou dû à des courants vagabonds, pour changer notablement la situation des armatures ?

M. PETROCOKINO. — Il est certain que je n'ai pas beaucoup développé l'aspect du problème courants dits vagabonds. Les courants vagabonds introduisent des champs généraux qui se superposent aux champs existants à l'électrode considérée et qui peuvent les annuler, les combattre ou, au contraire, les accroître ; tout ce que je peux dire, c'est que dans mon expérience personnelle, j'ai trouvé l'ordre de grandeur des champs généraux qu'on peut relever dans les ouvrages, probablement à cause de leur résistance électrique globale élevée, relativement faible et, généralement, de l'ordre de grandeur de ce qu'on trouve dans l'effet galvanique ou différentiel.

J'ai effectué des essais sur un ouvrage au voisinage de lignes électrifiées de la S.N.C.F., et j'y ai trouvé les valeurs suivantes : les différences de potentiel entre les zones cathodiques et anodiques étaient de 0,2 V, qui faisaient circuler du courant entre les anodes et les cathodes et ce potentiel était fixe c'est-à-dire stabilisé, ce courant circulait tout le temps, toutes les secondes de l'année.

Lorsqu'on observait l'ouvrage au moment du passage des trains, au moment où les densités de courants vagabonds étaient les plus fortes, on trouvait des lancées d'aiguille de l'ordre de 0,2 à 0,3 V au grand maximum. On avait le même ordre de grandeur, mais ceci ne correspondait qu'aux quelques minutes du passage du train.

Dans un autre cas, à Paris : on cherchait à vérifier l'influence du chemin de fer métropolitain. Là, on a pu mesurer directement les courants galvaniques qui, à cet endroit, étaient relativement faibles, de l'ordre du milliampère, lequel milliampère pouvait quand même, sortant par un point, provoquer des piqûres. L'influence du métropolitain était de l'ordre du microampère, par conséquent on avait affaire à un champ électrique nettement plus étendu. Je crois que la résistance électrique des ouvrages les sauve la plupart du temps.

M. DE MIRAMON. — Je me suis demandé si vous aviez entendu parler d'essais de protection d'armatures en béton par galvanisation à chaud.

M. PETROCOKINO. — Personnellement, non, je n'en ai pas entendu parler. Je n'ai pas vu de galvanisation à chaud d'armature.

Il faut faire très attention ; quelquefois le remède peut être pire que le mal. Nous avons vu que normalement, dans un béton bien fait, la rouille disparaît et une situation très stable apparaît. Si vous faites une galvanisation et si le zinc était attaqué au moment de la prise du béton cela pourrait créer des zones cathodiques et anodiques inutiles. Il faut étudier ce problème dans toutes ses conséquences.

M. FRASCH. — Au pH du béton, c'est-à-dire 12, le zinc est fortement attaqué et partiellement dissous. Il n'y aura donc plus d'adhérence du béton sur le métal.

M. DURIEZ. — Il y a une question beaucoup plus grave, c'est que dans le béton armé, le fer à nu doit, à l'origine, être en contact avec la chaux, pour provoquer l'adhérence ; celle-ci se produit par formation de ferrite de chaux ; si vous mettez du zinc entre les deux, la réaction ne peut se faire. Je sais bien qu'on protège par galvanisation les armatures du plâtre, mais il n'y a pas d'adhérence. Ce sont de fausses armatures. Dans le béton pour qu'il y ait adhérence, il faut qu'il y ait contact fer-ciment directement.

M. GRELU. — Vous avez mis en lumière des variations importantes de résistivité qui existent dans un béton entre le début de la prise et la fin du durcissement.

Il semble qu'elles soient dues en grande partie à l'eau libre contenue dans le ciment.

Lorsqu'on bétonne avec un ferrailage très dense, on se trouve malheureusement conduit, quelquefois, à surdoser en eau.

Pensez-vous que cela puisse être à l'origine de corrosions graves ?

M. PETROCOKINO. — Je n'ai pas trouvé de corrosions graves, mais il y a certainement une incidence. D'ailleurs, le graphique de la figure 6 que j'ai projeté tout à l'heure n'est pas gradué en ordonnée. Je n'ai pas pu obtenir encore de renseignements; je vais chercher à les obtenir. Vous dites qu'il y a des valeurs considérables comme variation de résistivité, c'est que c'est une question de fonction d'eau libre et d'eau liée. Mais les valeurs extrêmes ne sont pas bien connues. Il est certain qu'il faut faire attention pendant toute la période de prise du béton et éviter des situations hétérogènes, c'est-à-dire des contacts et des piles à l'intérieur de ce béton-là. Je crois que c'est cela qu'il faut retenir.

QUESTIONS ÉCRITES DE M. PASCAL

Premier point. — Les expériences de M. COLONNETTI faites sur des éprouvettes parallélépipédiques de béton fléchies et plongées dans un liquide agressif ont montré avec beaucoup de netteté que l'attaque de la partie tendue des prismes était très nette alors que les parties comprimées étaient intactes.

Il y a microfissuration c'est-à-dire fissuration échappant au pouvoir séparateur de l'œil normal et c'est cette microfissuration qui facilite la corrosion du béton tendu et aussi des armatures les plus proches de la face tendue.

Deuxième point. — La Société à laquelle j'appartiens a exécuté au Tonkin en 1937 une estacade sur rivière pour le compte de la Shell. Cette estacade fondée sur pieux frettés surplombait l'eau saumâtre d'un défluent du Fleuve rouge. Je l'ai vue en 1950, date à laquelle on s'en servait encore mais avec beaucoup de précaution. Nous devions la réparer mais les événements ont amené le client à changer d'avis. Je l'ai revue en 1952. J'ai remarqué sans trop de surprise que toutes les parties de la sous face qui étaient comprimées normalement étaient intactes ainsi que les pieux soumis d'ailleurs au marnage; mais que l'on distinguait la rouille des barres dans toutes les parties tendues en sous face et que parfois les dégradations étaient telles que non seulement le béton s'était détaché des barres très rouillées, mais qu'en certains points des barres de 16 à 20 mm de diamètre étaient littéralement interrompues sur 10 à 15 cm. On avait placé des platelages en bois pour faire circuler les wagonnets dans les régions les plus abîmées.

Cette corrosion doit être attribuée à l'évaporation de l'eau

saumâtre en climat tropical et à la microfissuration en facilitant les méfaits.

Depuis, je fais mes projets d'estacade en ne présentant à l'évaporation de l'eau saumâtre que des surfaces normalement comprimées et jusqu'à présent on ne m'a rien signalé de fâcheux.

Troisième point. — Le fait que la corrosion de l'acier dépend de la contrainte qu'il subit m'a intéressé et me conduit aux réflexions suivantes :

a) Il serait bon de prévoir des barres de précontrainte de plus grand diamètre comme on le fait en Allemagne; la corrosion serait moins redoutable dans ses effets, toutes choses égales d'ailleurs.

b) Il est possible que les contraintes dépassant une certaine limite et par exemple la limite élastique aboutissant à une microdislocation des grains du métal en favorisant l'attaque; c'est une question d'état de surface à voir par M. PETROCOKINO.

c) Il serait intéressant de procéder à des expériences méthodiques de corrosion sur divers aciers soumis à diverses contraintes dans des milieux agressifs tels que l'eau salée ou la vapeur d'eau salée et cela à des températures différentes; car, comme le montrent les constatations faites aux environs d'Haiphong et quelques autres que j'ai eu l'occasion de remarquer en Indochine, la température, en croissant, augmente considérablement la vitesse de corrosion.

d) L'avantage considérable du béton précontraint sur le béton armé pour ce qui concerne la protection du métal contre les influences de l'air ambiant, est prouvé par les expériences de M. COLONNETTI.

RÉPONSE ÉCRITE DE M. D. PETROCOKINO

M. PASCAL apporte des observations fort intéressantes qui confirment le fait que les couples électro-chimiques créés par distorsion des tensions internes dans le béton armé aggravent la corrosion chimique naturelle par pénétration du milieu agressif ambiant jusqu'à l'interface armature/béton.

Il serait souhaitable que l'on institue un essai sur une poutre en béton armé dans les conditions de microfissuration partielle et que l'on vérifie l'arrêt de la corrosion par la protection cathodique.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

(Reproduction interdite.)

DOCUMENTATION TECHNIQUE

153

RÉUNIE EN AVRIL 1960

SERVICE DE DOCUMENTATION

L'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics peut en général fournir la reproduction *in extenso* des documents figurant à l'index analytique de documentation : sur microfilms négatifs de 35 mm qui peuvent être lus en utilisant soit un agrandisseur photographique courant, soit un lecteur de microfilms ou sur papiers positifs pour lecture directe.

Les demandes de documents doivent comporter le numéro d'ordre placé en tête de l'analyse, le titre du document et le nom de l'auteur.

Prix des reproductions photographiques (port en sus) :	
Microfilms — la bande de 5 images	250 F
Positifs sur papier — la page :	
Format 13 × 18	110 F
18 × 24	130 F
21 × 27	170 F
Minimum de perception	350 F

Ces prix sont susceptibles de variation.


Pour tous renseignements s'adresser à l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics,
9, rue La Pérouse, Paris-XVI^e.

I. — INDEX ANALYTIQUE DE DOCUMENTATION

Les références de chaque article sont données dans l'ordre suivant : Numéro d'ordre, titre de l'article, nom de l'auteur, nom de la revue, date, numéro du fascicule, nombre de pages, nombre de planches.

Sauf indication contraire, les documents signalés sont rédigés dans la langue de leur titre original, qui est reproduit entre parenthèses, à la suite de la traduction de ce titre en français.

B. — ARCHITECTURE ET URBANISME

 1-153. Les plans d'urbanisme communaux et intercommunaux. — ROSSILLON (P.); Editns Berger-Levrault, Fr. (1960), 1 vol., 274 p., 18 fig. — Voir analyse détaillée B. 2929 au chapitre III « Bibliographie ». O. 62-60.
CDU 711 : 741 : 35 (44) (03).

Les analyses sont publiées dans l'ordre des rubriques de la classification du système CORDONNIER, établie pour le rangement du fichier de documentation de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics et elles comportent une indexation suivant la notation de la Classification Décimale Universelle (CDU).

C. — SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Ca RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

2-153. Mécanique physique. I- La mécanique des solides réels. — LE BOITEUX (H.); Edit. : *Libr. polytech. Ch. Béranger*, Belg., (1960), 1 vol., xii + 373 p., 187 fig. — Voir analyse détaillée B. 2924 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 80-60.

CDU 539.3/5 : 624.043/044 : 531.7 (03).

3-153. Efforts combinés dans les bâtiments à ossature métallique enrobée. I. II. III. (fin) (Composite action in steel-framed buildings). JONES (R.), HARROP (J.); *Civ. Engng publ. Works Rev.*, G.-B. (oct. 1959), vol. 54, n° 639, p. 1165-1168, 11 fig., 7 réf. bibl.; (nov. 1959), n° 640, p. 1311, 1313, 1315, 10 fig., 1 réf. bibl.; (déc. 1959), n° 641, p. 1432-1434, 8 fig. — Exposé sur les déformations et flèches observées durant le montage de l'ossature métallique nue, au cours du bétonnage des éléments métalliques, et après réalisation de l'ossature mixte. — E. 60139, 60452, 60784.

CDU 624.044 : 693.81 : 624.016 : 69.001.5.

4-153. Sur l'allongement du béton jeune sous charge de traction croissante (On extensibility of fresh concrete under slowly increasing tensile loads). OHNO (K.), SHIBATA (T.); *Bull. RILEM*, Fr. (oct. 1959), n° 4, p. 24-31, 12 fig., résumé en français. — Résultats expérimentaux d'essais sur éprouvettes de $4 \times 4 \times 20$ cm. — E. 60889.

CDU 666.972.015.46 : 624.043 : 620.1.

5-153. Etude de la flexion des coques de révolution chargées axisymétriquement. I. II. (fin). CASACCI (S.); *Travaux*, Fr. (nov. 1959), n° 301, p. 647-650, 2 fig.; (déc. 1959), n° 302, p. 711-714. — Présentation d'une méthode de calcul consistant à transformer les équations générales de la flexion des coques de révolution chargées axisymétriquement en une équation intégrale ou en un système d'équations intégrales de Fredholm. — E. 59950, 60563.

CDU 624.04 : 624.074.4/7.

6-153. Mesures effectuées sur des silos à grains pendant le remplissage et la vidange (Measurements in grain silos during filling and emptying). BERCAU (W.); *Proc. r. Swed. geotech. Inst.*, Suède (1959), n° 17, p. 47-71, 22 fig., 11 réf. bibl. — Résultats de mesures effectuées sur des silos à grains en 1951 et 1952. — Exécution des essais pour un silo en béton et pour un silo en tôles d'acier rivées. — Importance des efforts provoqués par la vidange des silos. — E. 60553.

CDU 624.042/43 : 725.36 : 69.001.5.

7-153. Le calcul des moments dans les tuyaux précontraints à extrémité renforcée (Die Momentenbeanspruchung in vorgespannten Rohren infolge verstärkter Rohrköpfe). HAMPE (E.); *Bauplan.-Bautech.*, All. (déc. 1959), n° 12, p. 555-560, 569, 12 fig. — Formules et diagrammes permettant la détermination rapide des contraintes momentanées et permanentes développées en direction longitudinale du fait du renforcement ou de l'affaiblissement des extrémités du tuyau. — E. 60524.

CDU 624.04 : 621.643.2 : 624.012.46 : 624.078.8.

8-153. Détermination des moments dans les barres gauches (Momentenermittlung von räumlich gekrümmten Stabsystemen). EISENMANN (J.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (nov. 1959), n° 11, p. 271-275, 10 fig., 2 réf. bibl. — Utilisation du calcul vectoriel et d'une intégrale de surface définie. Le vecteur moment; sa grandeur absolue et son vecteur unitaire; ses projections sur l'axe local de la barre et sur la surface de sa section; les projections du

vecteur moment de flexion sur les axes principaux de la section. — Exemple. — E. 60278.

CDU 624.04 : 624.072.4 : 624.074.

9-153. Efforts internes et déformations de la plaque annulaire et du voile cylindrique fermé rigide à la torsion, soumis à une charge s'exerçant avec une période de $n = 1$. I. II. (Schnittkräfte und Verformungen der Kreisringplatte und der biegesteifen, geschlossenen Zylinderschale bei einer mit der Periode $n = 1$ angreifenden Belastung). PITLOU (R.); *Bauplan.-Bautech.*, All. (nov. 1959), n° 11, p. 505-510, 10 fig., 3 réf. bibl.; (déc. 1959), n° 12, p. 564-565, 8 fig. — E. 60210, 60524.

CDU 624.043/044 : 624.073 : 634.074.4/7.

10-153. Formule pour déterminer la contrainte de fissuration (éléments en béton armé) (Una formula para determinar la tensión de fissuración). PAEZ (A.); *Inform. Constr. (Inst. tec. Constr. Cemento)*, Esp. (mars 1957), n° 89, p. 459, 2/1-459.2/4, 1 fig., 16 réf. bibl. (Trad. I. T. : 7 p.). — Abaque pour déterminer la contrainte de fissuration (Nomograma para determinar la tensión de fissuración). MUNOZ MARTIALAY (R.); (avr. 1957), n° 90, p. 459, 3/1-459, 3/3, 1 fig. (Trad. I.T. : 3 p.). — Exposé théorique avec compte rendu de recherches expérimentales. — E. 47729, 48395 : Docum. origin.; E. 62205, Trad. I.T. n° 539, 10 p. —

CDU 624.043 : 624.012.45 : 69.059.2.

11-153. Calcul des contraintes dues à la distribution non linéaire de la température dans les barres, tôles et plaques (Baustatische Berechnung von Temperaturspannungen infolge nicht linearer Temperaturverteilung in Stäben, Scheiben und Platten). RICKENSTORF (G.); *Bauplan.-Bautech.*, All. (nov. 1959), n° 11, p. 498-503, 10 fig., 14 réf. bibl. — Applications pratiques de recherches récentes. — Champs de température non stationnaires. Champs stationnaires, non linéaires. Champs de contraintes correspondant à ces distributions de température. — E. 60210.

CDU 624.043 : 624.071/073 : 536.5.

12-153. Contraintes dans les voiles cylindriques de longueur finie (Spannungen in Zylinderschalen endlicher Länge). EBERLE (E.); *Schweiz. Bauztg.*, Suisse (30 juil. 1959), n° 31, p. 493-497, 9 fig., 9 réf. bibl. — Etude des cylindres de faible longueur (ou des poutres sur fondation élastique) pour lesquels l'influence des conditions aux limites se fait sentir sur toute la longueur du voile. — E. 58924 : Docum. origin.; E. 62204 : Trad. I.T. n° 533, 16 p. —

CDU 624.04 : 624.074.4/7.

13-153. Calcul approché des contraintes secondaires développées dans les poutres transversales des ponts par les variations de longueur des éléments des poutres principales (Approximate determination of the secondary stresses caused in bridge cross girders by the main truss chord elongations). SZIDAROVSKY (J.); *Acta tech.*, Hongrie (1959), t. 25, n° 3-4, p. 335-349, 10 fig., 5 réf. bibl. (résumés français, allemand, russe). — Compléments apportés aux procédés connus de calcul de ces contraintes qui dépendent des positions relatives des poutres longitudinales et des entretoises, ainsi que des encastrements. Extension au cas des entretoises obliques. — Formules applicables aux cas courants. — Tableaux. — Exemple numérique. — E. 59584.

CDU 624.043 : 624.21.023.9 : 624.078.

14-153. Nouvelle méthode pour déterminer la répartition des contraintes de compression dans les pièces fléchies en béton armé et en béton précontraint. O'KEEFFE (J. D.), BENNETT

(E.-W.); *Travaux*, Fr. (déc. 1959), n° 302, p. 680-683, 7 fig., 7 réf. bibl. — E. 60563.

CDU 624.043 : 624.072.2 : 624.012.45/46.

15-153. Application de la théorie de Donnell pour les voiles cylindriques circulaires à l'étude des perturbations sur le bord incurvé (A application of Donnell's theory of circular cylindrical shells to the analysis of curved edge disturbances). HOLLAND (I.); *Mém. A.I.P.C.*, Suisse (1959), vol. 19, p. 65-80, 7 fig., 13 réf. bibl., résumés en français et en allemand. — Etablissement des équations différentielles du voile à partir des relations indiquées par Donnell entre les efforts et les déformations. Cette théorie est appliquée à l'analyse par la méthode de Fourier des perturbations qui se produisent sur le bord incurvé. — E. 60111.

CDU 624.075 : 624.074.4/7.

16-153. Etude théorique et expérimentale des ponts à poutres continues en caisson (Theoretical and experimental researches on continuous box girder bridges). KONISHI (I.), KOMATSU (S.), FUKUMOTO (Y.); *Mém. A.I.P.C.*, Suisse (1959), vol. 19, p. 133-146, 12 fig., 1 réf. bibl., résumés en français et en allemand. — Etude de la répartition théorique tridimensionnelle des contraintes, compte tenu spécialement de la torsion de la section transversale du pont sous l'influence des charges excentrées. Compte rendu d'essais sur un modèle plastique en acrylate avec des portées de $75 + 100 + 75$ cm. Conclusions tirées des résultats. — E. 60111.

CDU 624.04 : 624.27 : 624.075/78 : 69.001.5.

17-153. Etude critique de la notion d'articulation plastique utilisée dans le calcul à la rupture des ouvrages (A criticism of the plastic-hinge concept used in the plastic theory of structures). KUZMANOVIC (B. O.); *Mém. A.I.P.C.*, Suisse (1959), vol. 19, p. 147-154, 6 fig., 5 réf. bibl., résumés en français et en allemand. — Exposé tendant à démontrer que les hypothèses sur lesquelles se fonde généralement la théorie du calcul à la rupture peuvent conduire à des résultats erronés. En ce qui concerne les poutres continues calculées selon la théorie des articulations plastiques, l'importance de l'erreur dépend des conditions d'élasticité et du programme de mise en charge de la poutre considérée. — E. 60111.

CDU 624.04:539.5:624.078.6.

18-153. Conditions aux limites des plaques élastiques minces fléchies (On boundary conditions in the bending of thin elastic plates). WERFEL (A.); *Mém. A.I.P.C.*, Suisse (1959), vol. 19, p. 287-296, 6 fig., 5 réf. bibl. — résumés en français et en allemand. — Présentation d'une nouvelle explication physique de la condition marginale de Kirchhoff. — E. 60111.

CDU 624.075/78 : 624.073.

19-153. Une nouvelle articulation à rotule pour les ancrages de palplanches (Ein neues Drehgelenk für Spundwandverankerungen). JOPPE (F.); *Bautechnik*, All. (déc. 1959), n° 12, p. 451-458, 12 fig., 8 réf. bibl. — Description. Calcul. Utilisation. — E. 60733.

CDU 624.152.634 : 624.078.5.

20-153. Théorie de la capacité portante des constructions non-homogènes et orthotropes. — OLSZAK (W.), SAWCZUK (A.); *Ann. I.T.B.T.P.*, Fr. (mai 1960), n° 149 (T.M.C. : 39), p. 517-536, fig. — Définition de non-homogénéité et de l'anisotropie. Classement des corps en quatre catégories suivant leur homogénéité ou leur non-homogénéité, du point de vue élastique et du point de vue

plastique; énoncé de deux théorèmes fondamentaux sur le comportement des constructions rigides-plastiques, et définition d'une limite inférieure et d'une limite supérieure de la charge limite. — Etude des plaques non-homogènes et orthotropes circulaires, rectangulaires et nervurées. Calcul des plaques à la rupture. Etude des planchers champignons. — Etude des voiles minces soumis à l'action de charges proportionnellement croissantes. — E. 62508.
CDU 539.4/5 : 624.046 : 624.073.

21-153. Moments secondaires, angles de rotation, points d'inflexion et charges de flambage des barres de treillis (Secondary moments, end rotations, inflection points and elastic buckling loads of truss members). KUANG-HAN CHU; *Mém. A.I.P.C.*, Suisse (1959), vol. 19, p. 17-46, 21 fig., 12 réf. bibl., résumés en français et en allemand. — Etude de la relation entre les moments secondaires de flexion et la charge de flambage d'un treillis et de la relation entre les variations de ces moments et les déformations des barres dans les treillis isostatiques soumis à des charges qui croissent jusqu'aux points d'instabilité. — E. 60111.
CDU 624.075.2 : 624.074.5.

22-153. Vibrations dans les ponts à poutres principales continues (Vibrations of bridges with continuous main girders). KOLOUSEK (V.); *Mém. A.I.P.C.*, Suisse (1959), vol. 19, p. 111-132, 12 fig., 12 réf. bibl., résumés en français et en allemand. — Etude des effets dynamiques produits par le passage d'une locomotive à essieux moteurs non équilibrés sur un pont à poutres continues à trois travées. Pour simplifier le calcul, l'ouvrage réel a été remplacé par une poutre en treillis à trois travées de section constante dans chaque travée. — E. 60111.
CDU 534 : 624.27/28 : 624.075.

23-153. Etude des contraintes limites de l'acier ST. 37 (Analyse der Grenzspannung bei ST. 37). KORANYI (I.); *Acta tech.*, Hongrie (1959), t. 26, nos 1-2, p. 135-151, 8 fig., 4 réf. bibl. (résumés anglais, français, russe). — Exposé des calculs et essais utilisés pour déterminer la contrainte-limite en traction et en flexion fixée dans les Règlements hongrois sur les ponts-rails et le module d'élasticité à adopter pour le calcul au flambage. — La contrainte-limite de traction a été déterminée à la suite du dépouillement statistique des essais de réception des matériaux exécutés de 1941 à 1948. — Le module d'élasticité et sa dispersion ont été établis par des essais poursuivis de 1942 à 1948 sur trente-cinq éprouvettes de traction et huit éprouvettes de compression. — E. 59787.
CDU 539.3/4 : 691.714.

24-153. Influence de la qualité du ciment sur le module d'élasticité du béton (Influenta calitatii cimentului asupra modulului de elasticitate al betonului). SIMPLICEANU (V.); *Rev. Constr. Mater. Constr.*, Roumanie (1959), n° 10, p. 504-512, 19 fig., 5 réf. bibl. — Considérations générales sur le module d'élasticité et les facteurs qui influent sur sa valeur, notamment la composition du ciment. Recherches expérimentales exécutées avec six types de ciments différents. — E. 60304.
CDU 539.3 : 666.972 : 620.1.

25-153. Théorie statistique de la rupture du béton (Statistik brudhypothese for beton). LICHTENBERG (S.); *Nord. Betong*, Suède (1959), n° 4, p. 317-336, 17 fig., 14 réf. bibl. (résumé anglais). — Parmi les diverses théories de la rupture basée sur l'examen de l'état de contrainte représentée par le cercle de Mohr, c'est l'« hypothèse du frottement » qui convient le mieux au béton; cependant l'application de cette hypothèse conduit à des écarts considérables par rapport aux résultats d'essais. — Le présent article établit un rapport entre l'hétérogénéité du matériau et ces écarts, et utilise à cet effet les théories statistiques de la

rupture développée notamment par DANIELS, WEIBULL, A.-I. JOHNSON. — E. 60571.

CDU 539.4 : 666.972 : 519.2.

26-153. La force portante limite des voiles cylindriques pour différentes conditions de plasticité (Die Grenztragfähigkeit von zylindrischen Schalen bei verschiedenen Formen der Plastizitätsbedingung). OLSZAK (W.); SAWCZUK (A.); *Acta tech.*, Hongrie (1959), t. 26, nos 1-2, p. 55-77, 11 fig., 25 réf. bibl. (résumés anglais, français, russe). — Etude théorique des problèmes de la force portante et de l'écoulement plastique sous charge des voiles cylindriques orthotropes pour différentes conditions de plasticité et différents cas de chargement. — Les auteurs proposent un mode de linéarisation de la condition de Huber, Mises, Hencky. — Solutions nouvelles pour l'étude des états limites des réservoirs cylindriques orthotropes. — E. 59787.
CDU 539.4/5 : 624.074.4/7.

27-153. Etude de la relaxation d'un fil d'acier à partir de la mesure de sa fréquence de vibration transversale. CHAGNEAU (A.); *Bull. R.I.L.E.M.*, Fr. (juil. 1959), n° 3, p. 83-94, 13 fig. — E. 60355.
CDU 624.043/44 : 693.554 : 620.1 : 534.

28-153. Essais de relaxation, de fluage, de fatigue et de comportement aux températures élevées des fils d'acier pour béton précontraint. JEVTIC (D.); *Bull. RILEM*, Fr. (oct. 1959), n° 4, p. 66-73, 22 fig., résumé anglais. Compte rendu d'essais de fils étirés à froid effectués à l'Institut d'Essais des Matériaux de Belgrade : fils de 2,5 et de 5 mm de diamètre de provenance yougoslave et fils de provenance belge. — E. 60889.
CDU 620.16/17 : 621.77 : 693.554.

29-153. La relaxation des fils d'acier (Zur Relaxation von Stahldrähten). STRÜSS (F.); *Mém. A.I.P.C.*, Suisse (1959), vol. 19, p. 273-286, 13 fig., résumés en anglais et en français. Etude du phénomène de relaxation des armatures dans les ouvrages en béton précontraint à la lumière des constatations faites sur la variation de la résistance à la fatigue des métaux soumis à des charges répétées. Influence du fluage du béton sur la relaxation de l'acier. En conclusion, l'auteur est d'avis que les règlements actuels sous-estiment la relaxation des fils tendus. — E. 60111.
CDU 539.5 : 693.554 : 693.564.

Cac n Procédés de calcul.

30-153. Théorie du treillis (Theory of trusses). ASPLUND (S.O.); *Mém. A.I.P.C.*, Suisse (1959), vol. 19, pl. 1-16, 12 fig., 1 réf. bibl., résumés en français et en allemand. — Etude de la méthode des coupes virtuelles de Ritter-Culmann et de la méthode des déplacements rigides de Mohr. — Matrice correspondant aux opérations principales du diagramme d'efforts de Maxwell et du diagramme des déplacements de Williot. — Méthode de permutation des barres de Henneberg. — Etablissement de l'équation du travail de Maxwell-Mohr. — Calcul matriciel d'un treillis hyperstatique. — E. 60111.
CDU 624.04 : 624.074.5.

31-153. Flexion des voiles cylindriques simplement appuyés et partiellement chargés (Bending of partially loaded simply supported cylindrical shells). LEE (S.L.); *Mém. A.I.P.C.*, Suisse (1959), vol. 19, p. 155-168, 7 fig., 7 réf. bibl. — Résumés en français et en allemand. — Présentation d'une méthode de calcul de ces voiles simplement appuyés le long des bords longitudinaux et transversaux. L'auteur examine également de façon succincte le problème des voiles cylindriques partiellement chargés soumis à différentes conditions sur les bords

longitudinaux et simplement appuyés le long des bords transversaux. E. 60111.

CDU 624.04 : 624.074.4/7 : 624.078.

32-153. Etude d'un treillis à flèches imposées (The design of frameworks to give specific deflections). JAEGER (L.G.), CHILVER (A.H.); *Mém. A.I.P.C.*, Suisse (1959), vol. 19, p. 81-110, 37 fig., résumés en français et en allemand. — Problèmes posés par un treillis élastique à nœuds articulés, devant présenter en charge des flèches déterminées. — Conditions d'emploi des méthodes graphiques qui peuvent être étendues à l'étude des systèmes hyperstatiques. — Présentation d'une méthode de synthèse et étude d'un treillis plan à nœuds articulés reposant sur deux appuis. — E. 60111.
CDU 624.04 : 624.074.5 : 624.044.

33-153. Plaques et coques cylindriques orthotropes à nervures dissymétriques. MAS-SONNET (Ch.); *Mém. A.I.P.C.*, Suisse (1959), vol. 19, p. 201-230, 5 fig., 16 réf. bibl. — Résumés en allemand et en anglais. — Etude des plaques formées d'une dalle isotrope renforcée par deux familles orthogonales de nervures fixées sur une face de cette dalle. Conditions d'assimilation à une plaque de Huber. Extension aux coques cylindriques renforcées de même par deux familles orthogonales de nervures. — E. 60111.
CDU 624.04 : 624.073/78 : 624.074.7.

34-153. Calcul des voiles prismatiques par une méthode d'itération (De berekening van vouwschalen door toepassing van een iteratiemethode). GRABOWSKY (H.); *Cement Beton*, Pays-Bas (oct. 1959), n° 5, 460-465, 23 fig., 8 réf. bibl., résumés en anglais, en français et en allemand. — Présentation d'une méthode analogue à celle de Cross. — E. 60306.
CDU 624.04 : 624.074.4/7.

35-153. Calcul des voiles coniques soumis aux charges dues au vent (Obliczanie powłok stożkowych obciążonych wiatrem). LEDWON (J.); *Archiw. Inzyn. Ladowej*, Pol. (1959), t. 5, n° 3, p. 301-320, 20 fig., 5 réf. bibl. (résumé anglais). — Etude d'un voile en forme de cône ouvert à axe vertical soumis à une pression du vent linéairement variable le long de l'axe du voile. — Conditions d'application aux tours de réfrigérants. — E. 60007.
CDU 624.04 : 624.074.4/7 : 624.042.

36-153. Sur les voiles à double courbure (Ueber doppelt gekrümmte Schalen). CSONKA (P.); *Acta tech.*, Hongrie (1959), t. 26, nos 1-2, p. 87-101, 12 fig., 16 réf. bibl. (résumés anglais, français, russe). — Présentation d'un procédé permettant l'étude statique simple de ces voiles, basé sur la recherche d'une forme appropriée de la coque. — E. 59787.
CDU 624.04 : 624.074.4/7.

37-153. Calcul plastique des dalles soumises à des charges concentrées. I. II. III. (fin). GUERRIN (A.); *Béton armé*, Fr. (août-sep. 1959), n° 17, p. 5-11, 15 fig.; (oct. 1959), n° 18, p. 11-18, 22 fig.; (nov. 1959), n° 19, p. 11-19, 28 fig. — E. 59398, 60046, 60523.
CDU 624.04 : 539.5 : 624.073 : 624.042.

38-153. Calcul à la rupture des dalles continues (Calculo das lajes continuas no regime de rutura). MOREIRA DA ROCHA (A.); *Estrutura*, Brésil (1959), vol. 5, n° 19, p. 179-201, 10 fig. — Exposé de la méthode. — Tableaux et exemples de calcul. — Emploi de grillages d'armatures. — E. 59875.
CDU 624.04 : 539.5 : 624.073/75.

39-153. Conférence sur le calcul électronique (Conference on electronic computation). A. S. C. E., U. S. A. (1959), 1 vol., iii + 436 p., nombr. fig., réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 2942 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 69-60.
CDU 624.04 : 518.5 : 621.38 : 624.2/9.

40-153. Bois et charpente en bois. (Le matériau et son utilisation). — BROCHARD (F. X.); Édit. : Eyrolles, Fr. (1960), Collect. I. T. B. T. P., 1 vol., 256 p., nombr. fig., 8 fiches de fig. h.-t. — Voir analyse détaillée B. 2923 au chapitre III « Bibliographie ». — O 91-60.

CDU 691.11 : 624.011.1 : 694.1 (03).

41-153. Aباques et tableaux pour le calcul rapide des constructions métalliques SCHNADT (H.-M.); Centre Belgo-Luxembourg. Inform. Acier, Belg. (1959), 2^e éditn., 1 vol., 71 p., fig. — Voir analyse détaillée B. 2937 au chapitre III « Bibliographie ». — O 320-59.

CDU 624.04 : 624.014.2 : 518 (03).

42-153. Exercices pratiques pour le calcul des constructions (Problems in engineering structures). ASHBY (R.J.), CHILVER (A. H.); Édit. Ed. Arnold, Publ., G.-B. (1958), 1 vol., iv + 168 p., nombr. fig. — Voir analyse détaillée B. 2946 au chapitre III « Bibliographie ». — O 63-60.

CDU 624.01/04 (03).

43-153 La tour de télévision de 333 m de Tokio (Der 333 m hohe Fernsehturm in Tokyo). NAITO (P.); Stahlbau, All. (déc. 1959), n° 12, p. 317-321, 12 fig. — Éléments de calcul : pression du vent, efforts sismiques. Durée des oscillations propres. Matériaux utilisés. Constructions. Installations annexes. Particularités du montage. Déplacements de l'extrémité de la tour. — E. 60734.

CDU 624.97 : 621.39 : 624.014.2 (52).

44-153. Calcul des ouvrages comprenant des barres inclinées par la méthode des déplacements (Estruturas com hastas inclinadas resolvidas pelo método dos deslocamentos). POLLILLO (A.); Estrutura, Brésil (1959), n° 18, p. 61-78, 12 fig. — E. 59417.

CDU 624.04 : 624.072.33.

44bis-154. Éléments comprimés. Pièces pleines à section constante comprimées axialement : flambement simple. Ann. I.T.B.T.P., Fr. (mars/avr. 1960) n° 147/148, (Manuel Constr. métall. : 14), p. 405-424, 2 fig. — La première partie de ce fascicule comporte des considérations d'ordre général sur les méthodes de calcul des éléments comprimés, et notamment sur le principe de la méthode Dutheil, à laquelle se réfèrent les Règles CM 1956. La deuxième partie traite du flambement simple des éléments à section pleine constante, en indiquant le mode de calcul prescrit par les Règles CM 1956. Elle est suivie de tableaux de valeurs des coefficients de flambement et des charges unitaires admissibles. — E. 61991.

CDU 624.04 : 624.071.3 : 624.075.2 : 624.014.2.

45-153. La poutre Vierendeel continue (Der durchlaufende Rahmenträger). EL-DEMIR-DASH (I. A.); Mém. A. I. P. C., Suisse (1959), vol. 19, p. 47-63, 12 fig., 3 réf. bibl., résumés en anglais et en français. — Détermination approximative des flèches par l'étude de la poutre articulée isostatique et de la poutre simple soumise aux moments fléchissants et efforts tranchants. Les réactions aux appuis ainsi obtenues sont en bonne concordance avec les valeurs fournies par un calcul rigoureux et peuvent être utilisées pour le calcul ultérieur des moments et des efforts normaux dans la poutre Vierendeel continue à l'aide des « couples élastiques » ou de la « méthode des panneaux ». — E. 60111.

CDU 624.04 : 624.072.2 : 624.074.5 : 624.075/78.

46-153. Déformation des poutres annulaires renforçant les voiles de révolution (Deformation of ring girders stiffening thin shells of rotation). ORAVAS (G.A.); Mém. A. I. P. C., Suisse (1959), vol. 19, p. 257-272, 8 fig., 6 réf. bibl., résumés en français et en allemand. — Application de l'étude de la poutre annulaire au calcul des voiles de révolution raidis. Étude des poutres annulaires de section rectangulaire ou

trapézoïdale. Exemple d'application (voile sphérique à ouverture circulaire). E. 60111.

CDU 624.04 : 624.074.4/7 : 624.078.8.

47-153. Calcul des poutres continues en béton précontraint à moment d'inertie variable, effectué en considérant les variations de l'effort de précontrainte le long de la poutre (choix de la force de précontrainte) (Spreziona belka ciągła o zmiennym momencie bezwładności — dobor sily). STAROSOLSKI (W.); Archiv. Inzyn. Ladowej, Pol. (1959), t. 5, n° 3, p. 347-373, 18 fig., 8 réf. bibl., résumé anglais. — E. 60007.

CDU 624.04 : 624.072.2 : 624.012.46.

48-153. Quelques recherches concernant les voiles et les poutres-cloisons en béton armé (Nagra undersökningar rörande skivor och höga balkar av armerad betong). NYLANDER (H.); HOLST (H.); Kungl. Tek. Högskolans, Handl., Suède (1946), n° 2, 66 p., nombr. fig. — Étude de différents cas de rupture : rupture du béton par compression sur appuis ou sous charge concentrée; rupture par cisaillement; rupture par traction de l'acier; rupture par compression du béton. Dimensionnement et résultats d'essais. — E. 6022 : Docum. origin., notre DT. 151-27; E. 62364, Trad. I. T. n° 537, 73 p.

CDU 624.072.2 : 624.074.4 : 624.012.45 : 69.001.5.

49-153. Emploi des poutres courbes dans les constructions à ossatures (Krökta balkar i ramkonstruktioner). PAAVOLA (H.); Nord. Betong, Suède (1959), n° 3, p. 263-274, 7 fig., 2 réf. bibl., résumé en anglais. — Exposé sur les constantes le plus communément utilisées dans le calcul des éléments courbes dans un plan vertical, et qu'il est indispensable d'utiliser pour l'étude des constructions à ossature. — Ces constantes sont déterminées d'après le théorème de Castigliano. — Établissement des expressions générales pour les déformations et efforts. — Exemple d'application. — E. 59560.

CDU 624.04 : 624.072.2/4.

50-153. Le calcul des portiques à encastrement élastique en fondation (Rahmenberechnung mit elastisch gelagerten Fundamenten). MAGYAR (A.); Bautechnik, All. (déc. 1959), n° 12, p. 465-467, 10 fig., 2 réf. bibl. — Prise en compte de l'encastrement élastique en fondation dans le calcul des portiques par la méthode de Cross. — E. 60733.

CDU 624.04 : 624.072.33 : 624.15 : 539.3.

51-153. La méthode de Stewart pour le calcul des portiques métalliques à nœuds rigides (Methode van Stewart voor het berekenen van stijve staafconstructies). HEMAN (H. W. F. C.); Cement Beton, Pays-Bas (oct. 1959), n° 5, p. 422-430, 40 fig., résumés en anglais, en français et en allemand — Exposé de la méthode dite « The traverse method for analyzing continuous structures » mise au point en 1948. Exemples d'application. E. 60306.

CDU 624.04 : 624.072.33 : 624.014.2.

52-153. Systèmes sur appuis élastiques (Elastisch gestützte Tragwerke). PALOTAS (L.); Bauplan-Bautech., All. (déc. 1959), n° 12, p. 542-549, 17 fig., 8 réf. bibl. — Exposé de deux procédés fondamentaux de calcul des portiques continus sur appuis élastiques. — Le premier peut être considéré comme la méthode générale de calcul des systèmes sur appuis élastiques. Il repose sur la détermination des déplacements réels des appuis. — Le second est basé sur le principe du balancement des moments. — E. 60524.

CDU 624.04 : 624.072.33 : 624.15 : 539.3.

53-153. Portiques et poutres continues (Rahmentragwerke und Durchlaufträger). GULDAN (R.); Edit. : Springer, Autr. (1959), 6^e éditn., 1 vol., xxiii + 501 p., 809 fig., réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 2954 au chapitre III « Bibliographie ». — O 36-60.

CDU 624.04 : 624.072 2/33 : 624.075.(03).

54-153. La loi de superposition dans les constructions mixtes acier-béton examinée dans le cadre de la théorie de la plasticité (Das Superpositionsgesetz bei Verbundkonstruktionen vom Standpunkt der Plastizitätstheorie). TANAKA (H.); Bauplan-Bautech., All. (déc. 1959), n° 12, p. 566-567, 6 fig., 2 réf. bibl. — Court exposé relatif à la méthode de calcul des portiques de construction mixte acier-béton, suivant laquelle on superpose les efforts intérieurs développés d'une part dans la partie en béton armé, d'autre part dans la partie métallique. — Cas particulier des déformations plastiques examiné par l'Institut japonais de la Construction en vue de l'établissement d'un projet de norme. — E. 60524.

CDU 624.04 : 624.072.33 : 624.016 : 539.5.

55-153 Escalier hélicoïdal sur deux appuis reprenant tous les efforts (Die allseitig gestützte Wendeltreppe). FUCHSSTEINER; Betonkalender, All. (1955), p. 186-189, 3 fig. (Trad. I. T. : 4 p.). — Escalier hélicoïdal auto-porteur (Die freitragende Wendeltreppe). FUCHSSTEINER (W.); Beton-Stahlbetonbau, All. (nov. 1954), n° 11, p. 252-259, 15 fig. (Trad. I. T. : 27 p.). — Escalier hélicoïdal auto-porteur en béton armé construit en Belgique (Eine freitragende Wendeltreppe aus Stahlbeton in Belgien). SCHRODER; Beton-Stahlbetonbau, All. (1952), p. 219-220, 3 fig. (trad. I. T. : 5 p.). — Exposé du mode de calcul des escaliers hélicoïdaux en béton. — E. 35014, 32884, 23731 : Docum. origin.; E. 62203 : Trad. I. T. n° 532, 40 p. —

CDU 624.04 : 69.026.254 : 624.012.45.

56-153. Sollicitations à la flexion des marches d'un escalier formé de marches appuyées les unes sur les autres et soumises à des charges réparties le long d'un seul joint entre deux marches (Bending forces in block-steps of supported stairs, loaded along a single stair-groove). CSONKA (P.); Acta tech., Hongr. (1959), nos 3-4, p. 321-334, 7 fig., 4 réf. bibl., résumés allemand, français, russe. — Étude d'un tel escalier à volée droite entre paliers rigides, constitué de marches préfabriquées articulées entre elles. — Relation entre les charges appliquées aux marches contiguës et les déformations de ces marches. — Détermination des moments fléchissants. Application numérique. — E. 59584.

CDU 624.04 : 69.026.25/35.

57-153 Calcul des dômes ellipsoïdaux sans nervures (Studies van ellipsoidale koepels zonder ribben). LUYPAERT (P.), VAN DEN BROECK (J.); Tech. Wetenschap. Tijdschr., Belg. (déc. 1959), n° 12, p. 283-288, 6 fig., 4 réf. bibl. — Formules de calcul des dômes minces de révolution. Cas particulier d'un dôme ellipsoïdal aplati. — E. 60853.

CDU 624.04 : 624.074.2/4.

58-153. Sur la détermination de la charge des frettes dans les conduites forcées (Zur Ermittlung der Belastung von Schubringen bei Druckrohrleitungen). GRABNER (R.); Osterr. Ingr Zschr., Autr. (déc. 1959), n° 12, p. 473-477, 4 fig. — E. 61098.

CDU 624.04 : 628.14 : 621.311 : 624.078.8.

59-153. Le calcul des barrages évidés et à contreforts. BOURDON (C.); Soc. Ingrs civ. Fr., Fr. (sep.-déc. 1959), n° 5, p. 353-358, 1 fig., 17 réf. bibl. — Présentation d'une nouvelle méthode de calcul des contraintes dans ces ouvrages. Détermination des contraintes dans la partie du plat soumise directement aux sous-pressions et à la poussée hydrostatique. Calcul des contraintes principales. Contraintes sur le terrain d'appui supposé élastique. — E. 60929. CDU 624.04 : 627.8 : 624.078.8.

60-153. Sur le calcul des dalles de chaussée reposant sur poutres transversales élastiques (Zur Berechnung von Fahrbahnplatten auf nachgiebigen Querträgern); BECHERT (H.); Beton-

Stahlbetonbau, All. (déc. 1959), n° 12, p. 296-302, 11 fig., 12 réf. bibl. — La rigidité des poutres transversales. — Les sollicitations dues au poids propre. Les surfaces d'influence pour les charges de la circulation. Effets de la précontrainte. — E. 60626.

CDU 624.04 : 625.84 : 624.153 : 539.3.

61-153. Influence des poutres de rive raidisseuses et de la précontrainte transversale exercée dans les ponts (The effects of edge-stiffening and eccentric transverse prestress in bridges). LITTLE (G.), ROWE (R. E.); *Mém. A. I. P. C.*, Suisse (1959), vol. 19, p. 169-200, 38 fig., 6 réf. bibl., résumés en français et en allemand. — Présentation d'une méthode de calcul des poutres de rive des tabliers. Cette méthode ne peut être appliquée que lorsque la hauteur du tablier reste constante entre les poutres raidisseuses. — Comparaison du calcul complet d'un tel tablier avec les résultats enregistrés sur un modèle en Perspex. Une étude analogue est faite pour un pont à dalle raidie où le coefficient de torsion α du tablier non raidi est inférieur à l'unité. Estimation de la précision à attendre de l'étude théorique et de la variation en pourcentage des moments fléchissants longitudinaux et transversaux du fait de la présence des poutres de rive raidisseuses. — E. 60111.

CDU 624.04 : 624.27 : 624.078.8.

62-153. Étude d'un pont biais à gril de poutres par la théorie de la dalle orthotrope en forme de parallélogramme (On the analyses of a skew girder bridge by the theory of orthotropic, parallelogram plates). NARUOKA (M.); OHMURA (H.); *Mém. A. I. P. C.*, Suisse (1959), vol. 19, p. 231-256, 24 fig., 3 réf. bibl., résumés en français et en allemand. — Établissement de l'équation correspondant aux différentes formes du treillis biais dans le cas d'une dalle simplement appuyée sur les bords obliques opposés, et reposant sur les deux autres côtés sur des poutres. Détermination des coefficients d'influence de la flèche et du moment fléchissant pour les valeurs caractéristiques particulières de la dalle. Ces coefficients d'influence calculés ont été confirmés par des essais sur modèles de ponts biais à gril de poutres. — E. 60111.

CDU 624.04 : 624.27/7 : 69.001.5.

63-153. Calcul des armatures des ouvrages en béton armé à l'aide de l'essai photo-élastique sur modèle (Bemessung der Bewehrung von Stahlbetonkonstruktionen mit Hilfe des spannungsoptischen Modellversuches). HILTSCHER (R.), MÜLLER (R. K.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (nov. 1959), n° 11, p. 263-271, 24 fig., 14 réf. bibl. — Caractéristiques générales de l'essai sur modèle; étude des conditions de similitude; conditions à remplir pour l'exécution d'essais photoélastiques sur modèles d'ouvrages en béton armé. — Exemple d'application. — E. 60278.

CDU 624.04 : 624.012.454 : 69.001.5 : 535.24.

Caf Essais et mesures (mécaniques en principe).

64-153. Comptes rendus du Deuxième Congrès japonais sur les essais de matériaux (Proceedings of the Second Japan Congress on testing materials). — *Japan Soc. Test. Mater.*, Japon (1959), 1 vol., ix + 244 p., nombr. fig., nombr. réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 2957 au chapitre III « Bibliographie » — O. 83-60.

CDU 620.1 : 691.1/7 (061.3) (52).

65-153. Nouveau dispositif pour la détermination simple des allongements sur les éléments de construction et les ouvrages (Neue Hilfsmittel zur einfachen Bestimmung der Dehnungen an Bauteilen und Bauwerken). SCHWACHOFER (J.); *Bautechnik*, All. (déc. 1959), n° 12, p. 462-464, 8 fig., 3 réf. bibl. — Extensomètres photo-élastométriques. Leur

utilisation. Leurs avantages. — E. 60733.
CDU 620.1.05 : 624.044.

66-153 Essai à la rupture d'une flèche de grue (Traglastversuch eines Auslegers). WITT (H. P.); THIEL (R.); *Stahlbau*, All. (déc. 1959), n° 12, p. 331-335, 7 fig., 2 réf. bibl. — Type de flèche. Bases de calcul. Essais et résultats. — E. 60734.

CDU 621.873 : 624.04 : 69.001.5.

67-153. L'exécution de l'épreuve de pression hydraulique des conduites en acier (Beitrag zur Durchführung von Flüssigkeitsdruckprüfungen von Stahlrohrleitungen). SCHAFFHAUSEN (H.), KÖHLER (R.); *Gas-Wasserfach (GWF)*, All. (11 déc. 1959), n° 50, p. 1306-1311, 7 fig. — Commentaires illustrés d'exemples pratiques sur les dispositions en vigueur en Allemagne fédérale concernant l'épreuve de pression hydraulique des conduites à grande distance pour combustibles liquides. — E. 60632.

CDU 69.001.5 : 621.643.2 : 624.014.2 : 662.75.

68-153. Barres en aluminium comprimées et soumises à de faibles moments aux extrémités (Aluminium struts with small end moments). JUBB (J. M. E.); *Struct. Engr.*, G.-B. (déc. 1959), vol. 37, n° 12, p. 357-379, 45 fig., 27 réf. bibl. — Étude du comportement de la barre comprimée utilisée comme élément de treillis. Description et résultats d'essais de treillis et de barres isolées. Discussions et conclusions. — E. 60617.

CDU 624.071.3 : 624.074.5 : 624.014.7 : 69.001.5.

69-153. L'anisotropie non homogène des dalles en béton armé (On the non-homogeneous anisotropy of reinforced concrete plates). BORCZ (A.); *Archiv. Inżyn. Ładowej*, Pol. (1959), t. 5, n° 3, p. 241-265, 25 fig., 12 réf. bibl. — Compte rendu d'essais effectués pour vérifier les méthodes de calcul et les hypothèses des théories connues de ces dalles. — Les résultats concernent le comportement des dalles dans le domaine élastique avant et après l'apparition de fissures dans le béton. — Les essais ont été effectués sur des dalles rectangulaires avec armatures parallèles aux côtés. — E. 60007.

CDU 620.04 : 624.073 : 624.012.45 : 620.1.

70-153. Comptes rendus de la Société pour l'Analyse expérimentale des Contraintes (Proceedings of the Society for experimental Stress Analysis). *Soc. experim. Stress Analysis*, U. S. A. (1959), 1 vol., vol. 17, n° 1, xii + 180 p., nombr. fig., nombr. réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 2941 au chapitre III « Bibliographie » — O. 86-60.

CDU 620.1 : 624.043 (061.3).

Ce MÉCANIQUE DES FLUIDES. HYDRAULIQUE.

71-153. Communications du Laboratoire d'Essais de Hanovre pour les fondations et ouvrages hydrauliques (Mitteilungen der Hannoverischen Versuchsanstalt für Grundbau und Wasserbau). — *Franziskus-Institut d. technischen Hochschule Hannover*, All. (1959), n° 16, 406 p., 244 fig., nombr. réf. bibl. — G. PASSLACK — Calcul des déversoirs imparfaits en rivières dont le fond est réalisé en gradins, p. 1-102, 28 fig., 30 fig. h.-t., 40 réf. bibl. — E. DAVOUDZADEH — Contribution à la mise au point des filtres utilisés pour le drainage des sols constitués d'éléments fins, p. 103-143, 9 fig., 33 fig. h.-t., 25 réf. bibl. — E. SCHNOOR — Guide pratique pour la détermination du débit des rivières à marée en vue de la détermination des ondes de marée, de la vitesse d'écoulement et du débit, lors de l'apparition d'ondes de crue dans les cours d'eau intérieurs, p. 144-190, 12 fig., 7 fig. h.-t., 9 réf. bibl. — H. KROLEWSKI — Comportement des huiles minérales dans le sol,

p. 191-274, 9 fig., 62 fig. h.-t., 52 réf. bibl. — E. STEHR — Bases de calcul des dispositifs à air comprimé destinés à arrêter la propagation du pétrole dans les eaux des ports, p. 275-406, 6 fig., 48 fig. h.-t., 50 réf. bibl. — E. 60231.

CDU 532 : 627.15 : 624.131.6 : 662.75.

72-153. Paramètres et invariants utilisés pour l'estimation du débit solide (Neuere Parameter und Invarianten bei der Bestimmung der Geschiebeförderfähigkeit). BOGÁRDY (J.); *Wasserwirtschaft*, All. (déc. 1959), n° 12, p. 314-320, 9 fig. — E. 60703.

CDU 532.5 : 691.

73-153. Le problème du débit solide et l'amélioration des fleuves. — Le cas du Rhin. — VOLKER (A.); TOPS (J. W.); *Bull. Centre belge Et. Docum. Eaux (CEBEDEAU)*, Belg. (1959/4), n° 46, p. 187-194, 8 fig. — E. 60702.

CDU 532.5 : 691 : 624.15.

74-153. Effet de la turbulence de la nappe aquifère sur le rabattement dû aux puits (Effect of aquifer turbulence on well drawdown). MOGG (J. L.); *J. Hydraul. Div. (Proc. A. C. S. E.)*, U. S. A. (nov. 1959), vol. 85, n° HY 11, Pap. n° 2265, p. 99-112, 6 fig., 3 réf. bibl. — Passage de l'écoulement laminaire à l'écoulement turbulent de l'eau dans le sable. Méthode d'estimation de l'exposant du terme de vitesse pour les calculs de perte de charge relatifs aux écoulements dans les puits. Critique des études antérieures. — E. 60650.

CDU 532 : 628.11.

75-153. La notion d'hydro-potential dans l'hydraulique souterraine (Die Grundlagen der Hydro-Potential Auffassung in der Boden-Hydraulik). YTSHAR (A.); *Bauingenieur*, All. (déc. 1959), n° 12, p. 469-471, 1 fig. 1 réf. bibl. — Exposé théorique et établissement de formules applicables au calcul de puits imparfaits plongeant dans une nappe souterraine libre. — E. 60819.

CDU 532:624.131.6 : 628.11.

76-153. Application des méthodes graphiques à l'étude des régimes progressivement variables dans les réseaux de canalisations — CARLIER (M.); *Minist. Agric. (Direct. génér. Génie rur. Hydraul. agric.)*, Fr. (1959), 1 brochure, 23 p., 9 fig. — Rappel du principe de la méthode graphique et étude de son application au calcul des régimes d'un réseau de canalisations comprenant des réservoirs d'équilibre dont la cote de la surface libre est variable. — Exemples d'application. — E. 60891.

CDU 532 : 628.15.

77-153. Étude des seuils déversants à fente aspiratrice. — ESCANDE (L.), SANANES (F.); *Houille blanche*, Fr. (déc. 1959), n° B, p. 892-902, 9 fig., 2 réf. bibl. — Ces seuils correspondent à une amélioration du coefficient de débit des seuils déversants à dépression élevée par suppression du décollement de la veine du parement oval. Détermination de leurs caractéristiques par des expériences sur modèles réduits. Détermination des caractéristiques d'un prototype à échelle semi-industrielle qui sera étudié au Laboratoire d'Hydraulique de l'Université de Toulouse. — E. 60926.

CDU 627.8 : 621.646 : 532.5.

Gi GÉOPHYSIQUE. GÉOTECHNIQUE.

Cib m Étude des sols.

78-153. Considérations sur les masses granuleuses (Some aspects on the properties of granular masses). OSTERMAN (J.); *Svenska Nationalkommitt. Mekan. (Geologisekt.)*, Suède (1959), Meddel. n° 1, 14 p., 15 fig., 27 réf. bibl. — Compte rendu des recherches de l'Institut géotechnique suédois. — Description de l'appareillage d'essais et de mesures utilisé; résultats enregistrés. — Influence de la forme

des grains sur les caractéristiques des sols; structure d'une masse granulée, comportement cinématique d'une masse; déformation d'une masse soumise à une pression; frottement entre grains; étude du cisaillement; essais triaxiaux. — E. 59530. CDU 624.131.4 : 531.44/46.

79-153. Colloque sur l'utilisation des méthodes d'essais de sols pour l'étude et la construction des routes (Symposium on application of soil testing in highway design and construction). A. S. T. M., U.S.A. (1959), ASTM Spec. tech. Public. n° 239, 1 vol., iv + 127 p., nombr. fig., nombr. réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 2938 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 59-60. CDU 624.131.38 : 625.73 (061.3).

80-153. Comparaison des critères de qualité de sols-ciment sablo-limoneux. — CLOES (R.), DUTRON (P.); Ann. Trav. publ. Belg., Belg. (1959), n° 2, p. 143-177, 53 fig., 3 réf. bibl. — Comparaison des résultats des essais effectués selon les méthodes américaines et anglaises. — E. 60619. CDU 624.131.38 : 624.138 : 666.94.

81-153. Sur la capacité de charge du sol de fondation en cas d'inclinaison de la semelle et d'obliquité de la charge (Zur Tragfähigkeit des Baugrundes bei geneigter Sohlfuge und schrägem Lastangriff). FORSTER (W.); Bauplan.-Brutech., All. (nov. 1959), n° 11, p. 516-519, 10 fig., 6 réf. bibl. — Détermination des conditions de stabilité de la fondation. — Tableaux et abaques des coefficients. — E. 60210. CDU 624.131.5 : 624.153 : 624.042/046.

82-153. Poussée des terres sur un mur de soutènement pouvant être soumis à un mouvement de rotation autour du pied de sa face externe (Earth pressure on retaining wall tilting about the toe). KÉZDI (A.); Acta tech., Hongrie (1959), t. 25, n° 3-4, p. 377-392, 17 fig., 9 réf. bibl., (résumés allemand, français, russe). Présentation d'une méthode de calcul basée sur les résultats d'essais sur modèles. — E. 59584. CDU 624.131.5 : 69.022.2.

Cic Surface du globe. Hydrographie. Érosion.

83-153. Résultats obtenus sur les bassins expérimentaux de la France d'Outre-Mer. RODIER (J.); Houille blanche, Fr. (déc. 1959), n° B, p. 952-963, 12 fig. — Renseignements obtenus au sujet de la violence des crues des zones désertiques, de la dégradation hydrographique en zone sahélienne, de l'influence de la végétation forestière, du débouement, du rapport entre débits maximaux de crues et les sols, de l'évaporation sur nappe d'eau libre, de l'évapo-transpiration et du déficit d'écoulement. — E. 60926. CDU 532.5 : 551.48 (6).

84-153. Théorie de la sédimentation et utilisation de modèles. BRUCE (F.-E.); Bull. Centre belge Et. Docum. Eaux (CEBEDEAU) Belg. (1959/4), n° 46, p. 195-203, 3 fig., 16 réf. bibl. — E. 60702. CDU 532.5 : 691 : 627.17.

Co CONDITIONS ET ÉTUDES GÉNÉRALES. SITUATION GÉOGRAPHIQUE. CONGRÈS

Cod j Règlements. Législation.

85-153. Législation de la construction (Recueil de textes établis par le Service juridique du Conseil supérieur de l'Ordre des Architectes. Édit. : C. E. L. S. E., Fr. (1960), 1 vol., Collect. Tech. Architecture, 446 p. — Voir analyse détaillée B. 2932 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 82-60. CDU 35:69.721 (44) (03).

Cod l Normalisation.

86-153. Méthodes d'essais des sols (Nomenclature et définitions. Méthodes courantes. Méthodes recommandées). — (Procedures for testing soils. — Nomenclature and definitions. Standard methods. Suggested methods). A. S. T. M., U.S.A. (avr. 1958), 1 vol., viii + 540 p., nombr. fig., réf. bibl. — Voir

analyse détaillée B. 2939 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 60-60. CDU 624.131.38 : 389.6 (73) (03).

87-153. Cahier des charges applicable aux travaux d'étanchéité des toitures-terrasses et des toitures inclinées. — Cah. C.S.T.B., Fr. (déc. 1959), n° 41, Cah. 328, (D.T.U., déc. 1959, n° 43), 60 p., 3 fig. — Le présent document, reprenant les dispositions des textes de prescriptions techniques précédemment publiés en France, contient, à côté de la définition des complexes d'étanchéité et des moyens de leur mise en œuvre, les prescriptions concernant les supports, les formes et la protection de l'étanchéité elle-même. — E. 61046. CDU 699.82 : 69.024 : 69.001.3 (44).

Cod m Cahiers des charges. Contrats.

88-153. Cahier des charges provisoire des installations de chauffage central. — Industr. therm., Fr. (août-sep. 1959), n° 8-9, p. 433-453. — E. 59750. CDU 69.001.3 : 697.3.

89-153. Cahier des charges applicable aux travaux de ravalement-maçonnerie. — Cah. C. S. T. B., Fr. (déc. 1959), n° 41, Cah. 329, (D. T. U. — oct. 1959, n° 26-5), 10 p. — E. 61046. CDU 69.059.35 : 69.001.3 (44).

Cof m Annales. Bibliographie.
Dictionnaires. Catalogues.

90-153. Dictionnaires techniques (Műszaki ertermelo szótár). Akadémia Kiado, Hongr., 5 vol. I. — Architecture (Építőanyagok). PALOTAS (L.); 174 p. — II. — Electrotechnique générale (Általános elektrotechnika). KOVACS (K. P.); 236 p. — III. — Hydraulique et hydrologie appliquée (Hidraulika és műszaki hidrológia). MOSONYI (E.); 156 p. — IV. — Mécanique appliquée (Műszaki mechanika). PALOTAS (L.); 167 p. — V. — Machines électriques (Villamos gépek). KOVACS (K. P.); 164 p. — Voir analyse B. 2956 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 50-60, O. 51-60, O. 52-60, O. 53-60, O. 54-60. CDU 03 (439.1) (43) (410) (47).

D. — LES ARTS DE LA CONSTRUCTION

91-153. Encyclopédie allemande de la construction (Deutsche Bau-Enzyklopädie). Ministerium für Bauwesen, Deutsche Bauakademie, Deutsche Demokratische Republik, All. (1959), 2 vol., 6 fasc., 1200 p., nombr. fig. — Voir analyse détaillée B. 2953 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 112-60. CDU 69 (03) (43).

Dab MATÉRIAUX
DE CONSTRUCTION
(EN GÉNÉRAL)

Dab j Matériaux métalliques.

92-153. Aide-mémoire Dunod. — Métallurgie. I. — II. — CAZAUD (R.); Édit. : Dunod, Fr. (1960), 67^{ème} éditn., 2 vol., I. — xvi + 244 p. + lxiv p., fig. — II. — xvi + 216 p. + lxiv p., 78 fig. — Voir analyse détaillée B. 2921 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 74-60, O. 75-60. CDU 669 : 691.7 (03).

Dab n Matériaux
à caractéristiques particulières.
Isolants. Réfractaires.

93-153. Matériaux bitumineux pour assurer l'étanchéité des couvertures (Materiales asfálticos para la impermeabilización de cubiertas).

ORTEGA (J. J.); Cons. Sup. Investig. Ci. (Inst. tec Constr. Cemento), Esp. (1959), n° 192, 68 p., 56 fig., 25 réf. bibl. (résumés français, anglais, allemand). — Caractéristiques des matières premières : asphaltes, fillers, particules minérales, feutres, entrant dans la fabrication des étanchéités pour couvertures. Production des étanchéités préfabriquées. Facteurs intervenant dans le choix du type d'étanchéité; pose des éléments préfabriqués; méthodes d'essais; cahiers des charges. — E. 59794. CDU 691.16 : 69.024.158.

Dab p Extraction. Fabrication.
Récupération.

94-153. Études sur la fabrication rationnelle et le contrôle de la qualité des tuyaux en béton (Untersuchungen über die zweckmässige Herstellung und Gütebeurteilung von Betonrohren). ALBRECHT (W.); SCHÄFFLER (H.); Betonst. Ztg., All. (déc. 1959), n° 12, p. 516-527, 16 fig., 5 réf. bibl., résumés en français et en anglais. — Conditions de fabrication; résultats d'essais exécutés sur des tuyaux en béton d'un diamètre intérieur de 500 et de 800 mm. — Discussion. — E. 60795. CDU 621.643.2 : 624.012.4 : 69.001.5.

Daf SÉCURITÉ
DES CONSTRUCTIONS

Daf l Corrosion.

95-153. La corrosion de l'acier sous contrainte. GERBEAUX (H.); Soudage Tech. connexes, Fr. (nov.-déc. 1959), vol. 13, n° 11-12, p. 433-471, 63 fig. — E. 60991. CDU 620.193 : 691.714 : 624.043.

Deb INFRASTRUCTURES
MAÇONNERIES, BÉTONS

Deb ja Consolidation du sol.
Assèchement. Drainage.
Travaux hydrologiques.

96-153. L'emploi du compactage par vibro-flottation pour la construction d'une centrale thermique à Berlin-Spandau (Bodenverdichtungsarbeiten mittels Rütteldruckverfahren beim Bau eines Kraftwerkes in Berlin-Spandau). SCHEELHAASE (K.); Baumasch.-Bautech., All. (déc. 1959), n° 12, p. 449-456, 25 fig., résumés en français et en anglais. — La consolidation de sables hétérogènes et sans cohésion est adoptée plutôt que des pieux, pour fonder les turbo-alternateurs. — E. 60789. CDU 624.138 : 691.223 : 624.156 : 621.311.22.

97-153. Construction d'une fosse pour bennes dans un sol congelé. I. II. (fin) (Constructing a skip pit in frozen ground). *Civ. Engng publ. Works Rev.*, G.-B. (sep. 1959), vol. 54, n° 638, p. 1016-1018, 6 fig.; (oct. 1959), n° 639, p. 1176-1178, 4 fig. — Problèmes posés par la construction d'un haut fourneau et d'une fosse pour bennes. Difficultés dues au fait que la nappe aquifère n'est située qu'à 3,6 m au-dessous du niveau du sol. Étude du procédé de congélation du sol utilisé pour la réalisation de cette fosse. — E. 59834, 60139.

CDU 624.133/138 : 621.56.

98-153. Détermination des limites d'emploi des procédés d'injection de ciment et de produits chimiques lors des travaux de consolidation ou d'étanchéité dans les mines et dans l'industrie de la construction (Zur Bestimmung der Grenzen bei Poreninjektionen mit Zement und Chemikalien bei Verfestigungs- und Abdichtungsarbeiten im Bergbau und Bauwerke). DONEL (M.); Edit. : *Akad. Verlag, All.* (1958), 1 vol., *Freiberger Forschungshefte A/105-Bergbau*, 66 p., 43 fig., 38 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 2952 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 90-60.

CDU 624.138 : 693.546.3 : 661.

99-153. Consolidation des sols (par injections). Procédés de mise en œuvre de mélanges binaires et ternaires. VALLOT (L.); *Ingr.-Constr.*, Fr. (déc. 1959), n° 33, p. 527-546, 31 fig. — E. 60833.

CDU 624.138 : 693.546.3 : 691.4.

Deb ji Fondations.

100-153. Coffrage de la fouille réalisée pour la construction de la nouvelle Maison de la Radio à Munich (Die Baugrubenumschliessung für den Bau des neuen Funkhauses in München). KIRCHKNOPF (A.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (nov. 1959), n° 11, p. 257-263, 18 fig., 1 réf. bibl. — Problèmes de fondation posés par la proximité de la nappe souterraine. — En raison des inconvénients résultant de l'emploi de palplanches métalliques, il fut décidé de réaliser une enceinte en pieux jointifs Benoto. — Description des travaux. — E. 60278.

CDU 624.155 : 624.012.45 : 624.133.

101-153. Comparaison entre le tassement calculé et le tassement observé des ouvrages hydrauliques massifs en maçonnerie ou en béton (Srovnání vypočítaného a skutečného sedání masivních vodních staveb). CERMAK (Z.), KLAPETEK (F.); *Inzr. Stavby*, Tchecosl. (5 déc. 1959), vol. 7, n° 12, p. 464-470, 12 fig., 6 réf. bibl., résumés en anglais, en allemand, en russe. — Exposé théorique et présentation d'une méthode de calcul du tassement. Contrôle expérimental du tassement du barrage d'Orava en Tchecoslovaquie. — E. 60864.

CDU 624.131.542 : 627.8.

102-153. Sur le tassement d'une surface circulaire de charge uniforme reposant sur un sol de fondation stratifié (Zur Setzung einer Kreisfläche mit Gleichlast auf geschichteter Unterlage). FISCHER (K.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (déc. 1959), n° 12, p. 293-296, 8 fig., 5 réf. bibl. — Calcul du tassement et des déformations de la surface. — Application numérique à un réservoir cylindrique à fond mince reposant sur le sol. — E. 60626.

CDU 624.131.542 : 624.15 : 624.953.

Deb le Mortiers.

103-153. Étude du mortier d'injection pour les constructions en béton précontraint (A study of the grout for prestressed concrete structures). LYSE (I.); JOHANSEN (R.); *Bull. RILEM*, Fr. (oct. 1959), n° 4, p. 59-65, 18 fig., résumé en français. — Conditions requises pour l'obtention d'un bon mortier; recommandations pratiques. — Compte rendu d'un essai sur mor-

tiers fait récemment à l'Université Technique de Norvège. Influence des entraîneurs d'air sur la résistance au gel du mortier. — E. 60889.

CDU 666.971 : 693.564.4 : 699.83.

Deb li Bétons.

104-153. Feuilles de mesure et diagrammes à paraboles pour la détermination de la granulométrie optimale des agrégats du béton (Beton-Zuschlagstoffe unter Parabelkontrolle). SOLVEY-STERN (O.); *Zement-Beton*, Autr. (nov. 1959), n° 17, p. 1-8, 5 fig., 1 réf. bibl. — Exposé d'une méthode graphique mise au point par l'auteur. — E. 60669.

CDU 693.542 : 518.

105-153. Effet de l'absorption d'eau par les agrégats sur le rapport eau/ciment du béton (The effect of water absorption by aggregates on the water/cement ratio of concrete). NEWMAN (K.); *Magaz. Concr. Res.*, G.-B. (nov. 1959), vol. 11, n° 33, p. 135-142, 10 fig., 12 réf. bibl. — Résultats d'essais effectués avec des agrégats mouillés ou secs. — E. 60954.

CDU 693.542 : 691.322 : 620.1.

106-153. Étude de l'adhérence de l'enduit sur le béton Ytong (Zur Frage der Putzhaftung auf Ytong). PILNY (F.); *Bauingenieur*, All. (déc. 1959), n° 12, p. 456-461, 10 fig., 7 réf. bibl. — Essais relatifs à l'absorption d'eau par le béton Ytong et à sa dilatation en fonction de la teneur en eau. Mode opératoire. Résultats des mesures. Étude théorique des interactions de la couche de mortier et de la masse de béton Ytong. — E. 60819.

CDU 539.61 : 691.53 : 666.972.5 : 629.1.

107-153. Élévation de la température dans les gros blocs en béton des grands barrages, et chaleur d'hydratation (Zagrevanje krupnih betonskih blokova kod visokih brana i hidratacionna toplota cementa). TUFEGDZIC (V.); *Nase Gradevinarstvo*, Yougosl. (déc. 1959), vol. 13, n° 12, p. NG. 261-NG. 272, 17 fig. 6 réf. bibl., résumé en français. — Exposé des constatations faites lors de la construction du barrage sur la rivière Drina, à Zvornik (Yougoslavie). — E. 60691.

CDU 536.5 : 627.8 : 666.972.015.4.

108-153. Influence des dimensions et des contraintes sur le retrait et le fluage du béton. WEIL (G.); *Bull. R. I. L. E. M.*, Fr. (juil. 1959), n° 3, p. 4-14, 17 fig. — Communication présentée au Colloque « Influence du temps sur la résistance et la déformation » qui s'est tenu à Munich du 17 au 20 novembre 1958. — Compte rendu de deux séries d'essais effectués à l'Institut Otto Graf à Stuttgart et concernant d'une part l'influence des dimensions, d'autre part celle de la contrainte sur le retrait et le fluage du béton. — Description de la confection des éprouvettes. Les résultats obtenus dans chaque série d'essais sont traduits par des courbes. — E. 60355.

CDU 699.972.015.46 : 624.043 : 624.07 : 620.1.

109-153. Étude du fluage du béton (A study of the creep of concrete). MAMILLAN; *Bull. R. I. L. E. M.*, Fr. (juil. 1959), n° 3, p. 15-31, 35 fig. — Communication (en anglais) présentée au Colloque « Influence du temps sur la résistance et la déformation » qui s'est tenu à Munich du 17 au 20 novembre 1958. — Étude du fluage continu, la charge étant appliquée suivant l'axe longitudinal de l'éprouvette. — Les déformations ont été mesurées sur deux faces opposées de l'éprouvette. — Influence de divers facteurs tels que : durée du chargement, grandeur de la contrainte, âge du chargement, conditions hygrométriques de conservation, conditions de chargement, caractéristiques mécaniques du béton. — E. 60355.

CDU 666.972.015.46 : 624.043 : 620.1.

110-153. Fluage et déformation de retour du béton à des taux de compression élevés. FREU-

DENTHAL (A. M.), ROLL (F.); *Bull. R. I. L. E. M.*, Fr. (juil. 1959), n° 3, p. 32-59, 32 fig., 20 réf. bibl. (Tiré de : J. A. C. I., juin 1958). — Communication présentée au Colloque « Influence du temps sur la résistance et la déformation » qui s'est tenu à Munich du 17 au 20 novembre 1958. — Compte rendu d'essais entrepris à l'Université de Columbia pour étudier les effets des contraintes élevées, le comportement de différents mélanges de béton, la déformation de retour et la réponse du béton à une succession de cycles de chargement-déchargement. — E. 60355.

CDU 666.972.015.46.

111-153. Retrait et fluage des éprouvettes de faible section (Shrinkage and creep of specimens of thin section). PENA (C. de la); *Bull. R. I. L. E. M.*, Fr. (juil. 1959), n° 3, p. 60-70, 20 fig., résumé en français. — Communication (en anglais) présentée au Colloque « Influence du temps sur la résistance et la déformation » qui s'est tenu à Munich du 17 au 20 novembre 1958. — Compte rendu d'essais entrepris à l'Institut technique de la Construction et du Ciment à Madrid sur des éprouvettes de mortier ayant la forme d'un tube (longueur : 100 mm, diamètre intérieur : 46 mm, épaisseur au milieu du tube : 2 mm), conclusions tirées des essais ayant porté sur 216 éprouvettes. — E. 60355.

CDU 666.972.015.46 : 666.971 : 620.1.

112-153. Influence des propriétés du ciment sur le fluage du mortier (Test on the influence of the properties of cement on the creep of mortar). NEVILLE (A. M.); *Bull. R. I. L. E. M.*, Fr. (oct. 1959), n° 4, p. 5-17, 17 fig., 30 réf. bibl. — résumé en français. — Rapport présenté au Colloque « Influence du temps sur la résistance et la déformation du béton » tenu à Munich du 17 au 20 novembre 1958. — Étude du fluage d'éprouvettes de mortier réalisées avec 15 ciments différents, soumises à des charges permanentes de compression, et mesurées pendant plusieurs mois. De ces essais groupant plus de 700 éprouvettes il ressort que le fluage est sensiblement proportionnel au rapport entre la contrainte appliquée et la résistance du mortier au moment de la mise en charge, indépendamment de la nature du ciment. — E. 60889.

CDU 666.972.015.46 : 666.971 : 620.11.

113-153. Susceptibilité des enrobés à la température. — Étude du rôle des bitumes modifiés et des caractéristiques de l'agrégat. BRULEY (J.), DURUY (G.); *Construction*, Fr. (jan. 1960), t. 15, n° 1, numéro spécial : Routes et pistes d'envol, 1959, p. 72-82, 22 fig., 8 réf. bibl. — État des connaissances acquises sur l'emploi des bitumes « modifiés » afin de réduire l'influence de la température sur les caractéristiques des enrobés et de lutter contre la fissuration à basse température et le fluage à haute température. — E. 61471.

CDU 625.8.06/07 : 620.193 : 536.5.

114-153. Le problème du fluage non-linéaire du béton dans les constructions précontraintes. BYCHAWSKI (Z.); *Bull. R. I. L. E. M.*, Fr. (oct. 1959), n° 4, p. 53-58, 6 fig., 4 réf. bibl. — (résumé en anglais). — Étude montrant l'applicabilité de la théorie non-linéaire du fluage aux éléments précontraints, et confrontant les effets du fluage non linéaire aux données de la théorie linéaire. Conclusions relatives à l'estimation de la perte de tension des armatures. — E. 60889.

CDU 666.972.015.46 : 693.56 : 624.04.

115-153. Retrait et fluage du béton (The shrinkage and creep of concrete). LYSE (I.); *Magaz. Concr. Res.*, G.-B. (nov. 1959), vol. 11, n° 33, p. 143-150, 11 fig., 8 réf. bibl. — Compte rendu de recherches effectuées par l'auteur aux Laboratoires du Bâtiment et des Travaux publics, à Paris. — E. 60954.

CDU 666.971.015.46 : 620.1.

116-153. Fluage du béton léger (Creep of lightweight concrete). BEST (C. H.), POLIVKA (M.); *Magaz. Concr. Res.*, G.-B. (nov. 1959), vol. 11, n° 33, p. 129-134, 5 fig., 9 réf. bibl. — Fluage constaté au cours de périodes allant jusqu'à 18 mois pour des bétons d'agrégats de schiste expansé présentant des résistances à la compression de 2,1 et 3,5 kg/mm² à 28 jours. — Comparaison de ces résultats à ceux obtenus pour un béton non léger de résistance comparable. Matériels d'essai. Critique des méthodes d'étude du fluage du béton. — E. 60954.

CDU 666.972.015.46 : 666.973 : 620.1.

117-153. Fluage et béton précontraint. — DELARUE (J.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (mai 1960), n° 149 (Essais Matér. : 46), p. 425-446, 18 fig. — Des essais ont été entrepris pour comparer le retrait et le fluage d'un béton précontraint, d'une part sur une poutre de 28 m de longueur faisant partie du tablier d'un pont, d'autre part sur des prismes de 1 m de longueur conservés en hygrométrie sensiblement constante. — L'évolution du retrait est régulière sur les éprouvettes; sur la poutre, après un démarrage rapide, elle a une allure cyclique avec gonflements en hiver et raccourcissements en été. — Pour le fluage, on a distingué deux phases : dans la première phase, aussi bien pour la poutre que pour les éprouvettes, les déformations sont proportionnelles à la racine carrée du temps; la durée de cette phase est d'autant plus longue que la pièce est chargée plus jeune ou qu'elle est plus massive. — Aux âges avancés, les éprouvettes ne conservent de leur histoire antérieure qu'une empreinte constante. La poutre prend son fluage plus lentement que les éprouvettes, mais finalement une fibre supportant la même contrainte de compression qu'une fibre d'une éprouvette semble avoir un raccourcissement du même ordre. — E. 62508.

CDU 666.972.015.46 : 624.012.46 : 620.1.

118-153. Les travaux du Comité Européen du Béton (Arbetet inom Europeiska Betongkommittén). WÄSTLUND (G.); *Nord. Betong*, Suède (1959), n° 4, p. 297-316, 7 fig., 8 réf. bibl. (résumé anglais). — Compte rendu des recherches. — Commentaires sur les recommandations relatives au calcul des éléments en béton armé et aux mesures à prendre pour éviter le flambement. — Étude du problème de la fissuration du béton. — E. 60571.

CDU 624.012.45 : 624.04/07 : 69.059.2.

119-153. Influence des contraintes de traction dans le béton sur la répartition d'ensemble des contraintes et sur les déformations du béton armé (Influence of the concrete tensile stresses on the stress distribution and deformation of reinforced concrete). KRENCH (H.); *Ingeniøren*, Danm. (déc. 1959), vol. 3, n° 4, p. 119-123, 10 fig. — Calcul de la distribution des contraintes; étude du développement des fissures; interprétation d'essais de laboratoire. — E. 60906.

CDU 624.043 : 624.012.45 : 69.059.2.

120-153. Analyse des caractéristiques de déformation et de rupture du béton (An analysis of deformation and failure characteristics of concrete). BAKER (A. L. L.); *Magaz. Concr. Res.*, G.-B. (nov. 1959), vol. 11, n° 33, p. 119-128, 14 fig., 3 réf. bibl. — Considérations générales sur une structure réticulée du béton. — Equations et abaques basés sur ces considérations. Modèle permettant de représenter le système de structure interne du béton et de prévoir les formes de fissuration de spécimens soumis à différents systèmes de contraintes. Conclusions, recherches à poursuivre. — E. 60954.

CDU 539.2/5 : 666.972.

121-153. Comportement du béton dans l'eau de mer (Betonens bestandighed i havvand). *Nord. Betong*, Suède (1959), n° 3, p. 193-261, 31 fig., 32 réf. bibl. — Compte rendu détaillé

de recherches effectuées en Finlande, Norvège, Suède et Danemark. — E. 59560.

CDU 620.193 : 666.972 : 627.2 : 69.001.5.

122-153. Une bétonnière montée sur camion assure le malaxage du béton lourd destiné à la réalisation de l'écran de protection contre les radiations nucléaires au Laboratoire National de Brookhaven (Truck mixer fed concrete into forms for blocks for the Brookhaven synchrotron shield-heavy concrete mixed in transit). *Engng News-Rec.*, U.S.A. (26 nov. 1959), vol. 163, n° 22, p. 43, 45, 48, 50, 3 fig. — Caractéristiques du béton dont l'agrégat est du minerai d'ilmenite contenant 40 % de fer et 35 % de titane. — E. 60707.

CDU 666.972.5 : 699.88 : 539.1 : 691.322.

123-153. Essais récents sur l'étuvage du béton destiné à accélérer son durcissement (Neuere Versuche ueber die Dampfbehandlung von Frischbeton zur Erreichung früher Festigkeit). LEWICKI (E.); *Acta tech.*, Hongrie (1959), t. 26, nos 1-2, p. 45-54, 7 fig., 4 fig. h.-t., 2 réf. bibl. (résumés anglais, français, russe). — Examen de quelques propriétés de bétons traités à la vapeur à 70°. Amélioration de la résistance initiale; influence peu considérable aux âges élevés. — Le traitement n'engendre pas de contraintes nuisibles dans la masse du béton. Influence des dimensions relatives des éprouvettes sur la durée nécessaire du traitement. — Durée de conservation la plus favorable pour des ciments ayant différentes durées de durcissement. Effets du traitement sur le module d'élasticité du béton pour différentes sortes de ciment, différents âges du béton, et différents états de contraintes. — E. 59787. CDU 693.547 : 666.94 : 620.1.

124-153. Les produits d'addition et leur emploi dans la technique moderne du béton (Die Zusatzmittel und ihre Anwendung in der modernen Betontechnik). SIK A *Nachrichten*, Suisse (s. d.), n° 38, 35 p., nombr. fig. — Texte de diverses communications sur : les produits d'addition pour mortiers et bétons; le béton armé, le béton précontraint et les produits d'addition; adjuvants pour béton de masse; emploi d'adjuvants dans le béton fabriqué en centrale, le béton pompé, le béton projeté, le béton injecté sous pression; le béton résistant au gel et aux intempéries; le béton à air occlus; le béton résistant aux eaux agressives; problèmes du béton dans la construction des réacteurs atomiques; les retardateurs de prise et le béton revêtu. — E. 60487.

CDU 666.972.16 : 666.973 : 693.546.4.

Deb mo Enduits. Revêtements. Petits ouvrages.

125-153. Etude du comportement des revêtements de sols en carreaux céramiques (Om opskydning af klinkergulve). LANDBO (J.); *Ingeniøren*, Danm. (1959), n° 15, p. 463-469, 17 fig., 4 réf. bibl. — Influence de la chaleur, du type, et du mode de mise en œuvre des carreaux. Dispositions à prendre pour éviter les soulèvements. — E. 58963.

CDU 693.74 : 69.059.2.

Deb ne Béton armé.

126-153. Armatures du béton armé et fissuration (notamment pour ce qui concerne l'étude des ponts-poutres). MÖRSCH (E.); *Béton armé*, Fr. (nov. 1959), n° 19, p. 33-39, 7 fig. (Extraits de la dernière édition allemande de l'ouvrage d'E. MÖRSCH « Brücken aus Stahlbeton und Spannbeton », Stuttgart, 1958, notre D.T. 135/136, article n° 40, B. 2556). — E. 60523.

CDU 624.012.45 : 624.21 : 693.554.

127-153. La contrainte limite de l'armature longitudinale des poutres en béton armé (Die

Grenzspannung der Längsbewehrung von Stahlbetonbalken). HRUBAN (K.); *Acta tech.*, Hongrie (1959), t. 26, nos 1-2, p. 29-43, 15 fig., 3 réf. bibl. — (résumés anglais, français, russe). — Résultats d'essais exécutés sur soixante-six poutres en béton armé. — La contrainte limite obtenue avec des fers ronds a été supérieure de 10 % à la limite élastique inférieure des aciers (influence du retrait exclue). Le même résultat s'obtient pour des armatures d'une résistance plus élevée, sous certaines conditions. — La théorie statistique de la résistance des matériaux rend compte de l'écart constaté. — Les dispersions sont dues en grande partie au défaut d'homogénéité de l'acier employé. — E. 59787.

CDU 624.043 : 693.554 : 624.072.2 : 69.001.5.

128-153. Colloque sur l'adhérence entre les armatures et le béton et sur la formation de fissures dans les constructions en béton armé, Stockholm 1957 (Symposium on bond and crack formation in reinforced concrete, Stockholm 1957). — R. I. L. E. M.; *Svenska Forskningsinstitutet Cement Betong*, Suède (1959), vol. IV, 75 p., 7 fig. — Voir analyse détaillée B. 2955 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 71-60.

CDU 666.972.015 : 69.059.2 : 693.554 (061.3).

129-153. Poutres en béton à double armature. I. IL (Vigas de concreto com armadura dupla). HELFLOFT (A.); *Estrutura*, Brésil (1959), n° 17, p. 500-513, 19 fig.; n° 18, p. 19-33, 9 fig. — Compte rendu d'essais de poutres de 3,3 m de longueur totale, soumises à deux charges égales au tiers de la distance des appuis (3 m). — Poutres armées d'aciers ronds courants et d'aciers à nervure hélicoïdale. — E. 59466, 59417. CDU 624.072.2 : 624.012.4 : 620.1.

130-153. Compte rendu des essais effectués en vue de fixer les conditions d'emploi des aciers à haute adhérence des treillis soudés et des tôles déployées. — I : Essais de grandes poutres en T avec ou sans talon. Recherche d'un profil optimal d'acier à 60 kg/mm² de limite élastique. — PERCHAT (J.), GAILLARD (J.); *Ann. I.T.B.T.P.*, Fr. (mai 1960), n° 149 (Béton-Béton armé : 58), p. 537-574, fig. — Pour l'établissement des nouvelles règles du béton armé, il était nécessaire d'effectuer des essais en vue de déterminer la contrainte de traction admissible en service pour les aciers à haute résistance et à haute adhérence, actuellement fabriqués en France ainsi que les coefficients d'adhérence et de scellement de ces aciers. — Le présent article, consacré à la première partie du programme des essais traite : 1° des essais de treize poutres en T avec ou sans talon, de 7,5 m de portée et de 0,9 cm de hauteur armées d'aciers doux lisses (AC 42), d'aciers Caron, crénelé Sidélor, Tentor, Tor 40, Tor 60 et Tor 80; 2° de la recherche d'un profil optimal d'acier d'armature à 60 kg/mm² de limite élastique (aciers Tor 60, Kam 60 suédois, Tor 60 autrichiens et suisses). — La deuxième partie des essais (petites poutres et dalles) sera exposée ultérieurement. — E. 62508. CDU 693.554 : 691.714 : 620.16/17.

131-153. Barres d'armature crénelées Kam 40, Kam 60 et Kam 90. — Discussions des recommandations sur les règlements suédois du béton et des communications sur les recherches de l'Ecole technique supérieure Chalmers (Kam 40, Kam 60 och Kam 90. — Diskussion av de svenska betongbestämmelsernas rekommendationer och redogörelse för försök vid Chalmers tekniska Högskola). GRANHOLM (H.); *Chalmers Tek. Högskolas, Handlingar*, Suède (1959), n° 213, 40 p., 27 fig., résumé en anglais. — Raisons économiques du développement en Suède du type de barre crénelée dite Kam. — Caractéristiques principales des deux types Kam 26 et Kam 90. — Compte rendu des recherches expérimentales qui sont à la base des règles actuelles pour la barre Kam 40, —

Interprétation des résultats d'essais de poutres armées de barres Kam, mais dépourvues d'armatures de cisaillement, de poutres dans lesquelles l'adhérence a été neutralisée sur une certaine longueur des barres au-dessus des appuis, et de poutres dans lesquelles l'armature a été raccourcie. — E. 60273.
CDU 693.554 : 69.001.5 : 35 (485).

Deb ni Béton précontraint.

132-153. Manuel pratique du béton précontraint (Practical prestressed concrete). PRESTON (H.K.); Edit.: McGraw-Hill Publishing Co. Ltd., G.-B. (1960), 1 vol., x + 340 p., nombr. fig. — Voir analyse détaillée B. 2943 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 57-60.
CDU 624.012.46 : 624.04 (03).

133-153. Mise en tension des câbles dans le béton précontraint. DREUX (G.); Travaux, Fr. (déc. 1959), n° 302, p. 690-694, 5 fig. — Présentation d'une méthode graphique de détermination des contraintes en différents points d'un câble, exemple numérique. — E. 60563.
CDU 624.04 : 693.564.518.

134-153. Troisième Congrès de la Fédération internationale de la Précontrainte, Berlin 1958. Discussions (Third Congress Fédération internationale de la Précontrainte, Berlin 1958. Discussion). C. A. C. A., G.-B. (1959), 1 vol., viii + 209 p., nombr. fig., 1 pl. h.-t. — Voir analyse détaillée B. 2944 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 94-60/A.
CDU 624.012.46 (061.3) (100).

135-153. Poutres en béton précontraint à armature non adhérente (Vorgespannte Betonbalken ohne nachträglichen Verbund). HAVIAR (Gy.); Acta tech., Hongrie (1959), t. 26, nos 1-2, p. 115-133, 8 fig., 6 réf. bibl. (résumés anglais, français, russe). Définition des poutres ainsi précontraintes par post-tension des armatures. — Détermination des efforts internes. — Résistance des poutres. — Cas des poutres continues. — Comparaison de la résistance de ces poutres à celle des poutres à armatures adhérentes. — E. 59787.
CDU 539.4 : 624.072.2 : 693.564.

136-153. Poutres en béton précontraint avec armatures en fibre de verre (Belki szprezane włoknem szklanym). KAJFASZ (S.); Archiv. Inzyn. Ladowej, Pol. (1959), t. 5, n° 3, p. 321-346, 22 fig., 5 fig. h.-t., 4 réf. bibl. (résumé anglais). — Compte rendu d'essais ayant porté sur dix-neuf poutres en béton de 235 cm de longueur. — Description des ancrages et des procédés de mise en tension des câbles constitués de fibre de verre. — Les essais ont été effectués sur des poutres dont les gaines de câbles comportaient des vides autour des armatures, ou dans lesquelles on avait injecté sous pression une émulsion ou de la résine de polyester. — Comparaison avec les résultats obtenus sur des poutres avec armature en acier. — E. 60007.
CDU 624.072.2 : 693.554 : 691.6 : 620.1.

Dec CHARPENTE. MENUISERIE. SERRURERIE. TYPES DE STRUCTURES.

Dec I Travail des métaux. Charpente. Soudure. Menuiserie. Construction mixte acier-béton.

137-153. Aide-mémoire Dunod. — Construction métallique. T. I. — A l'usage des ingénieurs, architectes, entrepreneurs, conducteurs, agents voyers, vérificateurs, métrologues et commis de travaux. — MONDIN (Ch.); Edit.: Dunod, Fr. (1960), 2^e édit., 1 vol., x + 238 p. + lxiv p., nombr. fig. — Voir analyse détaillée B. 2920 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 47-60.
CDU 624.014.2 (03).

Ded TRAVAUX D'ACHÈVEMENT

Ded ma Travaux de peinture.

138-153. Manuel du peintre-vitrier. — LE PETIT (A.); Edit.: J.-B. Baillière et Fils, Fr. (1960), nouv. édit., 1 vol., 446 p., 74 fig., réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 2928 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 84-60.
CDU 698.1/3 : 667.6 (03).

Def PRÉFABRICATION

139-153. Etude des dimensions des éléments préfabriqués et des tolérances admises dans la préfabrication (Mattnoggrannhet och toleranser vid monteringsbyggeri). NYQUIST (I.); Stat. Nämnd Byggnadsforskning, Suède (1959), Rap. n° 54, 46 p., 39 fig., 21 réf. bibl., résumé en anglais : p. 44-45. — Conditions nécessaires pour la production d'éléments préfabriqués en béton dont les dimensions demeurent conformes aux tolérances admissibles. — E. 60359.
CDU 69.002.2 : 624.012.3 : 531.7.

140-153. Mécanisation du ferrailage des éléments préfabriqués (Realizari in mecanizarea executiei armaturilor pentru elemente prefabricate). VASILESCU (I.), ABRAMOVICI (L.); Rev. Constr. Mater. Constr., Roumanie (1959), n° 10, p. 489-497, 20 fig. — Réalisations à l'usine de construction des éléments préfabriqués « Progresul ». Description de l'organisation de l'atelier, de l'outillage et des différentes armatures réalisées. — E. 60304.
CDU 69.002.2 : 693.554.

Di INSTALLATIONS ANNEXES EQUIPEMENTS.

Dib PLOMBERIE SANITAIRE

141-153. La plomberie du bâtiment (Plumbing in building). WESTER (S.); Edit.: B. T. Batsford, G.-B. (1957), 1 vol., ix + 148 p., 104 fig., réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 2945 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 35-60 —
CDU 696.1 (03).

Dic CLIMATISATION. PHÉNOMÈNES ET PARAMÈTRES

142-153. Les tâches présentes du conditionnement climatique. Nécessité d'un système rationnel de caractéristiques du complexe homme-ambiance. I. II. III. (fin). DUPUY (R.); Chauff. Ventil. Conditionn., Fr. (oct. 1959), n° 8, p. 11-20, 4 fig., 1 réf. bibl.; (nov. 1959), n° 9, p. 3-12, 6 fig., 3 réf. bibl.; (déc. 1959), n° 10, p. 3-11, 3 fig., 1 réf. bibl. — E. 60161, 60499, 60966.
CDU 628.8.

143-153. Influence des revêtements de sol sur l'émission des planchers chauffants. MARÉCHAL (J. C.); Industr. therm. Fr. (août-sep. 1959), nos 8-9, p. 424-431, 12 fig., 5 réf. bibl. — E. 59750.
CDU 697.353 : 69.025.3.

144-153. Etude de cheminées d'installations de chauffage au mazout (Untersuchungen an Schornsteinen von Heizanlagen mit Oelfeuerung). SCHÜLE (W.), FAUTH (U.); Heiz. Lüft. Haustechn., All. (21 déc. 1959), vol. 10, n° 12, p. 327-330, 11 fig. — Mesure des températures des gaz d'échappement de dix installations. Les résultats ne font apparaître aucune corrélation entre l'importance de la chaufferie et la température des gaz d'échappement. En général les températures croissent avec la puissance du brûleur par m² de surface de chauffe. — E. 60866.
CDU 536.5 : 697.8 : 662.75.

145-153. Considérations de base de la régulation automatique. TYSSIL-DAVIES (E.); Cha-

leur, Climats, Belg. (nov. 1959), n° 287, p. 95-100, 6 fig. — Les appareils de régulation automatique et leur emploi. Le thermostat d'ambiance. OLYFF (H. E.), p. 103-111, 14 fig. — Les régulateurs de chauffage et la recherche scientifique. VIDAL (J.), p. 115-118, 4 fig., 5 réf. bibl. — Une installation modèle de régulation automatique. p. 121-123, 5 fig. — E. 60687.
CDU 697.347.

146-153. Isolation thermique des murs extérieurs, notamment dans les immeubles d'habitation à étages multiples (Ytterväggars värmeisoleringsförmåga, främst i flervanings bostadshus). BROWN (G.); Stat. nämnd Byggnadsforskning, Suède (1959), Handlingar n° 36, 160 p.; nombr. fig., 33 réf. bibl., résumé en anglais, p. 152-158. — Exposé des résultats de mesures directes d'isolation thermique effectuées en Suède au cours de la saison de chauffage dans des appartements occupés. — Conditions préliminaires à l'exécution des mesures d'isolation thermique des murs; description de l'appareillage de mesure; distribution du flux de chaleur sur la surface des murs; variations saisonnières de l'isolation thermique. — E. 60597.
CDU 699.86 : 69.022 : 536.6.

147-153. L'isolation thermique des locaux d'habitation (Notions et calculs élémentaires. Réglementation). BONHOMME (A.); Edit. Monit. Trav. publ. Bâtim., Fr. (1960), 1 vol., 183 p., 40 fig., 9 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 2927 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 78-60.
CDU 699.86 : 697.13/14 (03).

148-153. Révision des températures extérieures de base (hiver). CADIÈRES (R.); Industr. therm., Fr. (août-sep. 1959), nos 8-9, p. 409-423, 10 fig. — Etude du choix de la température extérieure adoptée dans les marchés d'installation de chauffage central. — Historique des études de 1937; enquête des C. T. I. V. C.; fréquences des basses températures pointes de froid; règles CORMAT-COBT; étude du C. O. S. T. I. C.; enquête du Conseil National technique. — Le nouveau projet. — E. 59750.
CDU 697.13/14 : 536.5 « 324 » : 69.003.23.

149-153. Calcul de l'influence des pertes des conduites de chauffage sur la charge des installations (Analysis of the effect of the losses of heating mains on circuit loading). CLEMENTSON (S. P.); Instr. Heat. Ventil. Engrs., G.-B. (déc. 1959), vol. 27, p. 260-269, 11 fig. — Présentation de formules, abaques et tableaux. — E. 60625.
CDU 693.13/14 : 697.33.

Dic I Chauffage.

150-153. Cours de chauffage, ventilation et conditionnement de l'air. — IV. — Compléments divers. — MISSENER (A.); Edit.: Eyrolles, Fr. (1960), 3^e édit., 1 vol., 314 p., 135 fig., 3 pl. h.-t., réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 2922 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 66-60.
CDU 697.1/9 : 628.8 (03).

151-153. Grandes ou petites installations de chauffage central (Stora eller sma värmecentraler). ENEBORG (I.); Stat. nämnd Byggnadsforskning, (SNB), Suède (1959), Handlingar n° 34, 112 p., nombr. fig., 21 réf. bibl., résumé en anglais : p. 110-111. — Compte rendu d'une enquête ayant porté sur cinq installations de chauffage central au charbon et au mazout, en vue de déterminer les dimensions les plus économiques des installations. — Coût de l'installation; investissements, frais d'entretien, frais de combustible. — E. 60596.
CDU 697.3 : 662.74/75 : 69.003.12.

152-153. Le poêle à mazout (Der Ölofen). BÄHR (H.); Edit.: Carl Marhold Verlag, All. (1960), 2^e édit., 1 vol., vii + 80 p., 63 fig. —

Voir analyse détaillée B. 2951 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 64-60.

CDU 697.325 : 662.75.

153-153. Utilisation des huiles combustibles. Chaufferies, cheminées et entreposage. — GRAVE (A. de); *Ann. Trav. publ. Belg.*, Belg. (1959), n° 1, p. 7-42, 39 fig., 6 réf. bibl. — Etude des problèmes posés par la construction des chaufferies, des cheminées, des réservoirs, constituant un complément au « Code de bonne pratique pour la réalisation des chaufferies pour chauffage central et locaux annexes » de l'Institut belge de Normalisation (NBN 197). — E. 60045. CDU 697.32 : 662.75 : 389.6 (493).

154-153. Production combinée d'électricité et de chaleur dans une centrale de chauffage urbain. — OLIVET (J.); *Charbon. Fr.*, Fr. (s. d.), 1 broch., 34 p., 9 fig. — Justification du concept sur le plan théorique; description du chauffage urbain envisagé; impératifs de la production d'électricité. — Etude des investissements propres à la production d'électricité; compte d'exploitation propre à la production d'électricité. — Résultats financiers. — E. 60040. CDU 697.32/34 : 621.311.22.

155-153. L'aide-mémoire du chauffage central et des installations connexes. EURIAT (R.); Fr. (s. d.), 10^e édit., 1 vol., n° 106054, 200 p., nombr. fig. — Voir analyse détaillée B. 2935 au chapitre III « Bibliographie ». O. 79-60. CDU 697.33/35 (03) (058.7).

156-153. Chauffage des locaux d'habitation avec faible apport d'air chaud (Rumsuppvärmning med små varmluftsmängder). LÖFSTEDT (B. E.), RONGE (H. E.); *Stat. Nämndf. Byggnadsforskning (SNB)*, Suède (1959), Rapp. n° 51, 39 p., 30 fig., 10 réf. bibl. — Etude détaillée des avantages de ce système de chauffage à air chaud, à jet dirigé. — E. 59119. CDU 697.38.

157-153. Chauffage des locaux d'habitation au moyen de pompes à chaleur (Rumopvarmning med varmepumper). OLUFSEN (P.); *Ingeniøren*, Danm. (1959), n° 16, p. 490-496, 5 fig., 12 réf. bibl. — Exposé des principes de fonctionnement de la pompe à chaleur. Avantages du procédé. Utilisation possible de la pompe à chaleur pour le chauffage des petits bâtiments isolés. — E. 59127. CDU 697.4 : 621.577.

158-153. Possibilités d'utilisation pour la préparation d'eau chaude, de pompes thermiques et de la chaleur fournie par les eaux usées (Anwendungsmöglichkeiten von Wärmepumpen für die Warmwasserbereitung unter Ausnutzung der Abwasserwärme). QUENZEL (K. H.); *Heiz. Lüft. Haustechn.*, All. (21 déc. 1959), vol. 10, n° 12, p. 333-337, 8 fig., 6 réf. bibl. — E. 60866. CDU 696.4 : 621.577 : 628.3.

Dif PROTECTION CONTRE LES DÉSORDRES ET ACCIDENTS

Difm Protection contre les phénomènes naturels.

159-153. Construction toute l'année. I. Etude, matériaux et équipement. — II. Exécution du travail (Byggeri hele året. I. Planlægning og

materiel. — II. Arbejdets udførelse). — *Stat. Byggeforskningsinst., Kommis. Tek. Forlag (SBI)*, Danm. (1959), I. *Anvisning* n° 48, 64 p., 25 fig., réf. bibl. — II. *Anvisning* n° 49, 52 p., 35 fig., réf. bibl. — I. Directives de l'Institut national danois de Recherche du Bâtiment. — Mesures à prendre dès le stade de la conception. Matériaux à utiliser (jusqu'à -5° C; au-dessous de -5° C). Choix de l'équipement — II. Précautions à prendre. Exécution des fondations. Bétonnage. Maçonnerie. Autres travaux. — E. 59933, 59934. CDU 69.03 « 324 ».

Difn Protection contre les désordres dus à l'homme.

160-153. La lutte contre la pollution atmosphérique (Air pollution control). FAITH (W. L.); Edit.: *John Wiley and Sons, Inc.*, U. S. A. (1959), 1 vol., vii + 259 p., nombr. fig., nombr. réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 2940 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 61-60. CDU 628.51 (03).

Dig STOCKAGE ET CIRCULATION DES FLUIDES.

Dig1 CANALISATIONS EN GÉNÉRAL.

161-153. Béton armé et canalisations. I. II. (fin). GUERRIN (A.); *Béton armé*, Fr. (nov. 1959), n° 19, p. 20-32, 8 fig.; (déc. 1959), n° 20, 0. 25-32, 5 fig. — Aperçu historique. — Exposé des méthodes de calcul modernes. — Choix d'un type de tuyau. — E. 60523, 60955. CDU 621.643.2 : 624.012.4/45/46 : 624.04.

162-153. Conception et calcul des canalisations en béton (Some structural aspects of the design of concrete pipelines). CLARKE (N. W. B.), YOUNG (O. C.); *Proc. Instn. civ. Engrs.*, G.-B. (sep. 1959), vol. 14, Pap. n° 6358, p. 67-96, 29 fig., 4 fig. h.-t., 11 réf. bibl. — Un certain nombre d'incidents récents intéressant des canalisations, notamment d'égouts en service, et une série d'essais en laboratoire, ont montré certaines insuffisances dans les procédés utilisés en Grande-Bretagne pour le calcul et la fabrication des tuyaux en béton pour canalisations. — Présentation de suggestions tendant à remédier aux défauts constatés. — E. 59706. CDU 621.643.2 : 624.012.4 : 628.2.

163-153. Aménagement hydroélectrique de Roselend (Savoie), conduite forcée de l'usine de la Bathie. CARTIER (R.); *Houille blanche*, Fr. (jan.-fév. 1960), n° 1, p. 4-21, 13 fig. — Description de la conduite forcée d'un diamètre variant de 3,5 à 3 m, d'un débit de 50 m³/s, fonctionnant sous une hauteur de chute brute de 1 203 m. Calcul succinct de deux types de tuyaux autofrettés. — E. 61702. CDU 621.311 : 628.14 : 621.311.

164-153. Les organes d'obturation dans les conduites (Absperrorgane in Rohrleitungen). VOLK (W.); Edit.: *Springer-Verlag*, All. (1959), 1 vol., vii + 178 p., 145 fig., 34 réf.

bibl. — Voir analyse détaillée B. 2949 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 46-60. CDU 621.646 (03).

Do ENTREPRISES. ORGANISATIONS. INDUSTRIALISATION. MAIN-D'OEUVRE. ETUDES. DOCUMENTATION.

165-153. Appointments et salaires en vigueur dans le Bâtiment et les Travaux publics du 1^{er} janvier 1958 au 31 décembre 1959. — Textes fondamentaux. Grilles de salaires. Classement des localités. — Edit.: *Monit. Trav. publ. Bâtim.*, Fr. (jan. 1960), numéro hors série formant supplément « Taux et Indices des Salaires » n° 508 bis, 168 p., nombr. fig. — Voir analyse détaillée B. 2926 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 76-69. CDU 331.2.

166-153. Les facteurs d'ambiance dans l'entreprise. — *Commissar. génér. Productiv.* — A. F. A. P. — Edit.: S. A. D. E. P., Fr., 1 vol., numéro hors série H « Documents » au service de l'Expansion économ. et tech., 167 p., nombr. fig. — Journées d'Information organisées par l'A. F. A. P., les 18, 19 et 20 septembre 1958. — Voir analyse détaillée B. 2930 au chapitre III « Bibliographie ». — E. 59570. CDU 331.82 : 697 : 628.9. 72.01 (061.3).

Dod MATÉRIEL ET OUTILLAGE

167-153. La vibration interne du béton (The internal vibration of concrete). KOLEK (J.); *Civ. Engng publ. Works Rev.*, G.-B. (nov. 1959), vol. 54, n° 640, p. 1286-1290, 9 fig., 2 réf. bibl. — Essais de vibrateurs internes utilisables dans l'industrie de la préfabrication. — Méthode d'essai adoptée. Son application à dix appareils différents. — E. 60452. CDU 693.546.4 : 621.9 : 69.001.5.

168-153. Emploi d'un foret à diamants pour percer le béton armé (Using a diamond drill in drilling through reinforced concrete). SINCLAIR (S.); *Civ. Engng publ. Works Rev.*, G.-B. (nov. 1959), vol. 54, n° 640, p. 1301-1302, 5 fig. — Description de l'outillage utilisé. — Résultats obtenus. — E. 60452. CDU 691.95 : 624.012.45.

Dof SÉCURITÉ DE CHANTIERS. ORGANISATION DE CHANTIER.

Dofj 1 Organisation des chantiers.

169-153. Organisation de chantiers (Projet n° 302/1 de l'Agence européenne de Productivité). SANSOM (R. C.); *Centre sci. tech. Bâtim.* (C. S. T. B.), Fr. (déc. 1959), 1 vol., 188 p., nombr. fig. — Voir analyse détaillée B. 2925 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 12-60. CDU 69.007/008 : 69/05 (061.3) (100).

P. — LES OUVRAGES

Fac ÉLÉMENTS PORTEURS

Fac j Massifs. Ossatures. Piliers. Colonnes.

170-153. Le bétonnage des fondations du synchrotron (du Laboratoire National de Brookhaven, U. S. A.) réclame la précision de 2,5 centièmes de mm (Synchrotron concreting

calls for thousandths-of-an-inch accuracy). *Engng News-Rec.*, U. S. A. (26 nov. 1959), vol. 163, n° 22, p. 40-42, 4 fig. — Etude des fondations du synchrotron dont l'élément essentiel est constitué par un anneau de deux cent quarante électro-aimants logés dans une galerie circulaire de 259 m de diamètre située à 3 m au-dessous du niveau du sol. La

poutre annulaire sur laquelle reposent les électro-aimants prend appui sur des pieux métalliques de 9 m de long. — E. 60707. CDU 624.154 : 621.311.2 : 539.1 : 693.5.

171-153. Conception plus économique et calcul plus exact des culées de ponts (Ueber die wirtschaftlichere Gestaltung und genauere

Berechnung der Brückenwiderlager). SZECHY (K.); *Acta tech.*, Hongrie (1959), t. 26, nos 1-2, p. 191-227, 21 fig., 3 réf. bibl. (résumés français, anglais, russe). — Caractère non économique des culées de ponts aujourd'hui utilisées. — Recherche d'une disposition constructive plus appropriée. — Méthodes de calcul plus précises. — Essais sur modèles. — Comparaison des valeurs calculées et des valeurs expérimentales. — E. 59787.

CDU 624.16 : 624.21.01 : 624.04 : 69.003.

172-153. Traversée de la baie de Cadix par une ligne électrique à 132 kV. — *Acier*, Fr. (déc. 1959), n° 12, p. 548-551, 7 fig. (Tiré de : *Rev. Inform. Electronica*, Esp., 1959, n° 7). — Description des deux tours métalliques qui supportent à 146 m au-dessus du niveau de la mer la ligne à haute tension traversant la baie de Cadix en une seule portée de 1 639 m. — La charpente métallique des tours est portée par un anneau en béton précontraint selon système Freyssinet, dont la semelle repose sur deux cercles concentriques de pieux. — E. 60631.

CDU 624.97 : 621.311 : 624.014.2 : 624.154.

173-153. La nouvelle tour de télévision de Tokio (Japon). TAKABEYA (F.); *Acier*, Fr. (nov. 1959), n° 11, p. 474-476, 6 fig. — Description de cette tour de 333 m de hauteur dont la forme s'inspire de celle de la tour Eiffel de Paris. — Les quatre arcs inclinés qui entourent sa base carrée ont 80 m de portée. Chacune des quatre jambes inclinées de la base de la tour repose sur huit caissons cylindriques de 2 m de diamètre. — Poussée du vent et efforts sismiques considérés. — Caractéristiques de l'acier utilisé. — E. 60362.

CDU 624.97 : 727.94 : 624.014.2.

174-153. Rationalisation de la construction traditionnelle des murs à charpente en bois (Rationalized traditional timber wall framing). SORESEN (C. P.), TASKER (H. E.); *Dept. Works, Commonwealth experim. Build. Stn.*, Austral. (1959), *Tech. Stud.* n° 40, iv p. + 26 p., 9 fig., 5 pl. h.-t. — Historique du mur à charpente en bois en Australie; étude des procédés de construction actuellement utilisés en Australie. — Description des panneaux derevêtement. Compte rendu d'essais effectués par la Commonwealth experimental Building Station pour déterminer la résistance des charpentes traditionnelles en bois. — E. 60423.

CDU 69.022 : 624.011.1 : 69.001.5.

175-153. Le béton de l'écran du réacteur de recherches F.R. 2 de Carlsruhe (Der Abschirmbeton des Karlsruher Forschungsreaktors FR2). BAUER (A.), SEETZEN (J.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (déc. 1959), n° 12, p. 281-293, 22 fig., 3 réf. bibl. — Exposé des travaux et essais ayant précédé la réalisation de cet écran. — Conditions générales physiques et techniques auxquelles doit satisfaire un écran de béton. — Conditions particulières applicables au réacteur de Carlsruhe. — Choix du type de béton et de son mode de préparation. — Description des essais exécutés. — E. 60626.

CDU 666.972.5 : 699.88 : 539.1.

Fac 1 Barres. Cadres. Poutres.

Dalles. Planchers.
Auvents. Portiques.

176-153. Eléments mixtes en béton ordinaire et béton précontraint (Vorgespannte Betonverbundkonstruktion). RÜHLE (H.); *Betonst. Ztg.*, All. (déc. 1959), n° 12, p. 527-533, 13 fig., 15 réf. bibl., résumés en français et en anglais. — Eléments formés d'une « planche précontrainte » préfabriquée et de béton coulé sur place. Bases d'étude, calcul et dimensionnement des éléments. Exemples de réalisations. — E. 60795.

CDU 624.016 : 624.012.45/46.

Fac m Toitures. Voûtes. Dômes.

Coupoles. Arcs.
Escaliers. Voiles.

177-153. Le toit plat (Das flache Dach). SCHAUPP (W.); *Heraklith Rundschau*, Autr. (sep. 1959), n° 48, 23 p., 64 fig., résumés en français et en anglais. — Etude détaillée des meilleures conditions de réalisation des terrasses et autres couvertures à faible pente. Gros œuvre et revêtements. — E. 60823.

CDU 69.024.3.

Fsc n Ancrages. Chainages.

Suspentes.

Eléments de solidarisation

ou renforcement.

Contreventement.

178-153. Contreventement des bâtiments. ALBIGES (M.), GOULET (J.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (mai 1960), n° 149 (T. M. C. : 38), p. 473-500, fig. — Le contreventement des bâtiments élevés peut être assuré soit par des murs de refend pleins ou avec ouvertures, soit par des portiques, soit par une combinaison de ces éléments. — On présente des solutions simples aux problèmes suivants : distribution de la résultante générale de l'action du vent entre les divers plans de contreventement; stabilité sous l'action du vent d'un mur de refend avec ou sans ouverture, et de ses fondations; calcul des efforts dans un portique d'une travée symétrique ou dissymétrique, soumis à un système de forces horizontales; évaluation du déplacement horizontal du sommet d'un mur de refend ou d'un portique. — Abaques. Exemples numériques. — E. 62508.

CDU 624.04/042 : 721 : 69.022.4 : 624.072.33.

Feb

HABITATIONS
INDIVIDUELLES
ET COLLECTIVES.
AGGLOMERATIONS.

179-153. Constructions métalliques pour la ville nouvelle de Sarcelles (France). PASCAUD (S.); *Acier*, Fr. (nov. 1959), n° 11, p. 467-473, 20 fig. — Description de la « Maison des Jeunes » destinée à l'hébergement de jeunes travailleurs célibataires, constituée d'un bâtiment de 9 étages et d'un bâtiment à un niveau accolé au précédent. Ossature métallique classique sur soubassement avec sous-sol partiel en béton. — Fondations sur puits. — Planchers en dalles pleines de béton armé à chauffage incorporé. — Façades en murs panneaux légers. — Description succincte d'écoles à façades en panneaux légers et d'une centrale thermique. — E. 60362.

CDU 728.54 : 693.97 : 69.022.327.

Fed TRAVAUX MILITAIRES.

TRAVAUX D'UTILITÉ PUBLIQUE.

ALIMENTATION EN EAU.

HYGIÈNE PUBLIQUE.

GÉNIE RURAL.

Eaux SOUTERRAINES.

Fed la Alimentation en eau.

Eaux souterraines.

180-153. Encyclopédie des eaux de consommation. — Cahier n° 6 (non spécialisé). — La filtration rapide. SIRJEAN (G.); *Fr.* (1959), 38 p., 56 fig. h.-t. — Voir analyse détaillée B. 2934 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 70-60. CDU 628.16 : 621.646.8.

Fed m Hygiène publique.

Evacuation des eaux.

181-153. Evolution des procédés d'épuration des eaux usées (Ausarbeitung von Abwasserreinigungsverfahren). LAPSCHIN (M.J.).

Edit. : B. G. Teubner, All. (1959), 1 vol., vi + 204 p., 25 fig. — Voir analyse détaillée B. 2947 au chapitre III « Bibliographie ». — O 33-60. CDU 628.3 : 725.4 (03).

182-153. Procédés d'exécution d'aqueducs souterrains. CHEMIN (J.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (mai 1960), n° 149, (Trav. publ. : 65), p. 447-472. — Résultats obtenus dans l'application de quelques techniques particulières pour la construction des galeries souterraines de moyenne section circulaire constituant l'ossature du réseau de grands ouvrages prévus au Programme Général d'Assainissement de la Région Parisienne. — Trois aspects des méthodes appliquées sont successivement examinés : 1°) exécution du revêtement en béton tassé mécaniquement dans les terrains de tenue moyenne sous différents types de coffrage métallique; 2°) utilisation de voussoirs préfabriqués en béton pour galeries en terrains fluents, (sables de Beauchamps rencontrés en divers points du sous-sol de la région parisienne); 3°) application de la précontrainte à la construction d'un siphon de grand diamètre réalisé par la méthode d'immersion; précontrainte longitudinale continue pour chaque tronçon, et joints souples entre ces derniers. — E. 62508. CDU 628.2 : 69.025.28 : 624.012.4.

Fib OUVRAGES INDUSTRIELS
ET COMMERCIAUX,
DE PRODUCTION D'ÉNERGIE
ET D'UTILITÉ PUBLIQUE.

Fib n Production d'énergie.

Ouvrages hydrauliques.

Barrages.

Régularisation des cours d'eau.

Revêtements de barrages.

183-153. L'aménagement de la rivière la Loue dans le département du Jura. MENEZ (P.); *Ann. Ponts Chauss.*, Fr. (nov.-déc. 1959), n° 6, p. 715-734, 20 fig. — Particularités de cette rivière de plaine au caractère encore un peu torrentiel. — Considérations qui ont guidé le choix des caractéristiques à adopter pour la fixation de son lit. — Méthodes utilisées pour la défense des berges et l'exécution des coupures. — E. 60581. CDU 627.4 : 627.51.

184-153. Nouvelle méthode de construction de barrages en béton armé (Nyere byggemater for armeret betongdammer). GRONER (Chr. F.), ANDERSEN (B. J.); *Nord. Betong*, Suède (1959), n° 3, p. 275-290, 14 fig., résumé en anglais. — Etude de la construction récente en Norvège d'un barrage à contreforts de 430 m de longueur au couronnement et d'une hauteur maximale de 14 m et de deux barrages-voûtes de 120 et 180 m de longueur en crête et de 40 et 70 m de hauteur. — E. 59560.

CDU 627. 8 : 624.012.45.

185-153. Aide-mémoire sur les centrales hydrauliques (Taschenbuch Wasserkraftanlagen). RAUCH (A.); Edit. : *Franckh'sche Verlag.*, All. (1959), 1 vol., 430 p., 518 fig. — Voir analyse détaillée B. 2950 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 34-60.

CDU 627.84/88 : 621.646 (03).

186-153. Barrages et bassins de retenue. — *Congr.-Colloq. Univers. Liège*, Belg. (1959), vol. 14, 2 broch. : Sédimentation dans les barrages-réservoirs et moyens de lutte. DUQUENOIS (H.); 30 p. (p. 197-226), 3 fig. — Etude de la sédimentation des barrages-réservoirs en Algérie et moyens mis en œuvre pour préserver les capacités. THEVENIN (J.); 34 p. (p. 227-260), 18 fig., 7 fig. h.-t., 23 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 2936 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 72-60, O 73-60.

CDU 627.8 532.5 (061.3).

187-153. Les centrales thermiques (Problèmes de construction). (Dampfkräft-

werke. — Bautechnische Probleme). HOFFMANN (Cl.); Edit. : B.G. Teubner, All. (1959), 1 vol. vii + 147 p., 146 fig., 259 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B. 2948 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 32-60.

CDU 621.311.22 (03).

188-153. L'industrie devant l'énergie nucléaire. III. Conférence de Stresa (11-14 mai 1959). Partie I. Bilan des programmes européens. Economie de l'énergie nucléaire. Financement des programmes. — O. E. C. E., Fr. (1959), 1 vol., 289 p., nombr. fig., 3 pl. h.-t. — Voir analyse B. 2931 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 23-60.

CDU 539.1 : 658.14/2 (30).

Fid Voies de communication.

Fid I Ouvrages pour la navigation.

189-153. Elargissement du chenal navigable et pose d'un radier en béton colcrete dans le canal latéral au Neckar à Wieblingen (Verbreiterung des Fahrwassers und Einbau einer Colcrete-Beton-Sohle im Seitenkanal Wieblingen der Neckar-Wasserstrasse), FISCHER (Fr.), STAUDER (H.); Bautechnik, All. (déc. 1959), n° 12, p. 445-451, 14 fig. — Le chenal. Nécessité de son élargissement. Les plans de transformation. Exécution des travaux : fond et berges. — Essais. — E. 60733.

CDU 626.1 : 693.5 : 699.82.

190-153. Rapport technique annuel 1959 de la Commission « Ouvrages de quais » de l'Association technique des Constructions portuaires et de l'Association allemande de Mécanique des Sols et de Terrassement (Technischer Jahresbericht 1959 des Arbeitsausschusses « Ufereinfassungen » der Hafenbautechnischen Gesellschaft e. V. und der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e. V.). — LACKNER (E.); Bautechnik, All. (déc. 1959), n° 12, p. 468-472, 9 fig., 2 réf. bibl. — Suite au rapport de 1958. — Nouvelles recommandations définitives de la Commission. Deuxième édition élargie du recueil. « Recommandations de la de la Commission ». Recommandations provisoires soumises à la discussion. Travaux en cours. — E. 60733. CDU 627.33/41 (061.3) (43).

191-153. Les travaux portuaires de l'Administration fédérale des ouvrages hydrauliques et de la navigation à Heligoland. I. II. III. (fin). (Die Hafenbauarbeiten der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes auf Helgoland). BECKER, BREITSCHWERT, JENSEN; Bautechnik, All. (oct. 1959), n° 10, p. 391-398, 11 fig., 2 réf. bibl. — (nov. 1959), n° 11, p. 423-431, 16 fig. — (déc. 1959), n° 12, p. 458-462, 5 fig. — Étude de la reconstruction des jetées. — E. 59869, 60246, 60733. CDU 627.5.

192-153. La porte d'écluse levable et rabatable horizontalement du type court (Das umlegbare Hubtor verkürzt Bauart). HACKER (H.); Bauingenieur, All. (déc. 1959), n° 12, p. 453-455, 8 fig. — Description du mécanisme. — E. 60819. CDU 626.4 : 621.8.

Fid p Voies aériennes.

193-153. Le développement de l'aéroport de Gatwick (The development of Gatwick airport). SNOW (F. S.), PAYNE (N. J.); Proc-Instn civ. Engrs, G.-B. (sep. 1959), vol. 14. Pap. n° 6385, p. 43-66, 14 fig., 12 fig. h.-t., 12 réf. bibl. — Aperçu historique; emplacement; étude du terrain; description du système de drainage, des travaux de terrassement, de l'exécution du revêtement en béton de ciment non armé. — Problèmes des joints; dosage du béton. — Compte rendu d'essais divers. — E. 59706. CDU 629.139.1 : 625.84 : 693.5.

194-153. Le taxiway expérimental en béton précontraint de Melsbroek. VANDEPITTE (D.); Tech. rout., Belg. (déc. 1959), vol. 4, n° 4, p. 105-112, 4 fig. — Étude de ce taxiway composé de plaques préfabriquées précontraintes dans le sens longitudinal au moyen de fils adhérents. Ces plaques ont 12 m de longueur, 1,25 m de largeur et 10 cm d'épaisseur. — Le problème des revêtements de chaussées et de pistes en béton précontraint. RIESSAUW (F. G.); p. 113-132, 33 fig., 8 réf. bibl. — Étude de réalisations en France, en Allemagne, en Suisse, aux Pays-Bas. — E. 60890.

CDU 629.139.1 : 625.84 : 693.564.

Fif OUVRAGES D'ART.

Fif j Souterrains.

195-153. Construction d'une galerie sous-fluviale sous la Seine, à Rouen, I. II. (fin). ARQUIÉ (G.), NICOLLE (R.); Ann. Ponts Chauss. Fr. (sep.-oct. 1959), n° 5, p. 579-599, 15 fig.; (nov.-déc. 1959), n° 6, p. 651-680, 11 fig., 2 réf. bibl. — Étude d'une galerie de section circulaire de 2,7 m de diamètre et de 210 m de longueur livrant passage à diverses canalisations d'eaux-vannes, de gaz, d'eau et de câbles P.T.T. circonstances et analyses de divers incidents survenus au cours de travaux. — E. 59802, 60581. CDU 624.194.

196-153. Le tunnel routier sous le Mont-Blanc. — GALLAI (M.); Edit. : Départ. Inform. Relat. extér. Synergie, Fr. (mai 1959), 1 vol., 34 p., 15 fig. — Voir analyse détaillée B. 2933 au chapitre III « Bibliographie ». — O. 68-60. CDU 624.192.

Fif m Ponts.

197-153. Le nouveau pont de la passe de Perth (Australie occidentale). — (The new Narrows bridge at Perth). — Civ. Engng publ. Works Rev., G.-B. (déc. 1959), vol. 54, n° 641, p. 1426-1428, 6 fig. — Pont en béton précontraint d'une longueur totale d'environ 340 m, d'une largeur de 21 m, avec six voies de circulation et deux trottoirs de 2,4 m, séparés par une bordure de 0,6 m et un garde-corps. — Description générale. Pieux. Culées. Piles. Tablier. — Étude des contraintes. — E. 60784. CDU 624.27.012.46:624.21.02.

198-153. Pont et digue sur le Sio Sund (Danemark). (Bridge and embankment over

Sio Sound). ENGELUND (A.); Ingeniøren, Danm. (déc. 1959), vol. 3, n° 4, p. 113-118, 12 fig. — Remplacement d'un service de ferry-boat par une digue et un pont à poutres en béton précontraint de 540 m de longueur sur vingt travées de 27 m de portée. Fondations sur un sol argileux, mise en place de caissons sur le sol consolidé par des pieux en bois, et bétonnage des caissons pour constituer les piles. — E. 60906.

CDU 624.27.012.46 : 624.166 : 624.157.2.

199-153. Nouvelles considérations sur les débouchés des petits ouvrages sous routes. DELORME (A.); Ann. Ponts Chauss., Fr. (nov.-déc. 1959), n° 6, p. 681-713, 8 fig., 5 réf. bibl. — Rappel succinct de la théorie de l'écoulement critique; présentation de formules permettant d'obtenir la capacité de débit d'un petit ouvrage, compte tenu de la charge amont admissible, de la pente et des conditions régnant à l'aval. — Compte rendu d'essais sur modèles confirmant la validité des formules proposées. — E. 60581. CDU 625.78 : 624.21 : 532.

200-153. Étude, bases de calcul et construction des ponts submersibles (The investigation, design and construction of submersible bridge). VICTOR (D. J.); J. Indian Roads Congr., Inde (oct. 1959), vol. 24, n° 1, p. 181-213, 9 fig., 10 réf. bibl. — Choix de l'emplacement; calcul du débit de crue et des forces s'exerçant sur un pont submersible; caractéristiques du sol et des fondations. — E. 60946.

CDU 624.7 : 626.02.

Fo INCIDENCES EXTÉRIEURES

Fod Modifications. Démolitions. Désordres. Renforcement.

201-153. De l'explication de la formation des fissures dans le traitement statique des structures en maçonnerie (On the accounting of crack formation in the static treatment of masonry structures). ANGERO (K.); Bull. R. I. L. E. M., Fr. (juil. 1959), n° 3, p. 71-82, 24 fig., 9 réf. bibl., résumé en français. — Communication (en anglais) présentée au Colloque « Influence du temps sur la résistance et la déformation » qui s'est tenu à Munich du 17 au 20 novembre 1958. — Compte rendu de recherches effectuées au Laboratoire de Statique et de Construction des Ponts de l'Institut pour la Recherche technique à Helsinki sur les déplacements angulaires, dans les différents cas de charge, d'un pilier en maçonnerie d'une hauteur d'étage sans résistance à la traction. — E. 60355. CDU 624.04 : 624.072.3 : 624.012.1/4 : 620.1.

202-153. Recherches sur les causes des fissures de certains revêtements en béton (Investigation into causes of cracks in certain concrete pavements). BOSE (S. K.); J. Indian Roads Congr., Inde (oct. 1959), vol. 24, n° 1, p. 117-141, 15 fig. — Comportement de deux revêtements en béton pour piste d'envol soumis à des charges croissantes, les pressions des pneus croissant également. Constatations faites sur une longue période (10 ans pour l'une des deux pistes). — E. 60946.

CDU 69.059.2 : 625.84 : 629.139.1.

II. — TRADUCTIONS

D'ARTICLES TECHNIQUES, EFFECTUÉES PAR L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT
ET DES TRAVAUX PUBLICS

Des reproductions de ces traductions peuvent être fournies aux adhérents de l'Institut Technique.

532. Escalier hélicoïdal sur deux appuis reprenant tous les efforts (Die allseitig gestützte Wendeltreppe). FUCHSSTEINER; *Betonkalender*, All. (1955), p. 186-189, 3 fig. (Trad. I. T. : 4 p.). — Escalier hélicoïdal auto-porteur (Die freitragende Wendeltreppe). FUCHSSTEINER (W.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (nov. 1954), n° 11, p. 252-259, 15 fig. (Trad. I. T. : 27 p.). — Escalier hélicoïdal auto-porteur en béton armé construit en Belgique (Eine freitragende Wendeltreppe aus Stahlbeton in Belgien). SCHRODER; *Beton-Stahlbetonbau*, All. (1952), n° 9, p. 219-220, 3 fig. (Trad. I. T. : 5 p.). — Exposé du mode de calcul des escaliers hélicoïdaux en béton. — E. 35014, 32884, 23731 : Docum. origin.; E. 62203 : Trad. I. T., 40 p.

533. Contraintes dans les voiles cylindriques de longueur finie (Spannungen in Zylinderscha-

len endlicher Länge). EBERLE (E.); *Schweiz. Bauztg*, Suisse (30 juil. 1959), n° 31, p. 493-497, 9 fig., 9 réf. bibl. — Étude des cylindres de faible longueur (ou des poutres sur fondation élastique) pour lesquels l'influence des conditions aux limites se fait sentir sur toute la longueur du voile. — E. 58924 : Docum. origin.; E. 62204 : Trad. I. T., 16 p.

537. Quelques recherches concernant les voiles et les poutres-cloisons en béton armé (Nagra undersökningar rörande skivor och höga balkar av armerad betong). NYLANDER (H.), HOLST (H.); *Kungl. Tek. Högskolans Handl.*, Suède (1946), n° 2, 66 p., nombr. fig. — Étude de différents cas de rupture : rupture du béton par compression sur appuis ou sous charge concentrée; rupture par cisaillement; rupture par traction de l'acier; rupture par compres-

sion du béton. Dimensionnement et résultats d'essais. — E. 6022 : Docum. origin., notre DT. 151-27; E. 62364, Trad., 73 p.

539. Formule pour déterminer la contrainte de fissuration (éléments en béton armé) (Una formula para determinar la tension de fissuración). PAEZ (A.); *Inform. Constr. (Inst. tec. Constr. Cemento)*, Esp. (mars 1957), n° 89, p. 459.2/1-459.2/4, 1 fig., 16 réf. bibl. (Trad. I. T. : 7 p.). — *Abaque pour déterminer la contrainte de fissuration* (Nomograma para determinar la tension de fissuración). MUNOZ MARTIALAY (R.); (avr. 1957), n° 90, p. 459.3/1-459.3/3, 1 fig. (Trad. I. T. : 3 p.). — Exposé théorique avec compte rendu de recherches expérimentales. — E. 47729, 48395 : Docum. origin.; E. 62205, Trad. I. T., 40 p.

III. — BIBLIOGRAPHIE

Chaque analyse bibliographique donnant le nom et l'adresse de l'éditeur et le prix de vente, les adhérents de l'Institut Technique sont priés de s'adresser directement aux éditeurs ou aux librairies pour se procurer les ouvrages qu'ils désirent acquérir; toutefois pour les ouvrages édités à l'étranger, il est préférable de les commander par l'intermédiaire de librairies spécialisées dans l'importation. Tous renseignements complémentaires seront fournis sur demande par l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 9, rue La Pérouse, Paris XVI^e.

2920. Aide-mémoire Dunod. - Construction métallique. T. I. — A l'usage des ingénieurs architectes, entrepreneurs, conducteurs, agents voyers, vérificateurs, métreurs et commis de travaux. — MONDIN (Ch.); Édité : Dunod, 92, rue Bonaparte, Paris, Fr. (1960), 2^{ème} éditn, 1 vol. (9,5 × 14,5 cm), x + 238 + lxiv p., nombr. fig., NF 6,80. — Matériaux et généralités : fer, fonte, acier, produits laminés, moulés, forgés, tréfilés. — Classification des produits sidérurgiques suivant les profils; caractéristiques dimensionnelles des ronds, carrés, plats, larges plats, équerres, cornières, profilés divers, poutrelles, feuillards, tôles, tubes. Rivets, boulons, écrous. — Aciers spéciaux. — Traitement et usinage des fers et aciers. — Modes d'assemblage : rivetage, boulonnage, soudage. — Éléments constitutifs de la construction métallique : poutres à âme pleine, poutres-caissons, poutres tubulaires, à treillis, poutres de hauteur variable, consoles, poteaux, nœuds d'ossature des bâtiments à étages, nœuds encastres. — O. 47-60.

B-2921. Aide-mémoire Dunod Métallurgie. I. II. — CAZAUD (R.); Édité : Dunod, 92, rue Bonaparte, Paris, VI^e, Fr. (1960), 67^{ème} éditn, 2 vol. (10 × 15 cm), I. — xvi + 244 p. + lxiv p., fig. — II. — xvi + 216 p. + lxiv p., 78 fig., NF 6,80 chaque volume. — Tome I. — Fabrication de la fonte; élaboration de l'acier. Coulée de l'acier. Classification des aciers ordinaires et des aciers spéciaux. Métallurgie des métaux autres que le fer : cuivre, plomb, zinc, cadmium, étain, nickel, cobalt, antimoine, mercure, aluminium, magnésium, bismuth, béryllium ou glucinium, calcium, indium, cérium, germanium. — Métaux précieux. Métaux spéciaux : chrome, molybdène, manganèse, wolfram ou tungstène, vanadium, titane, zirconium, tantale, columbium ou niobium. — Tome II. — Fonderie. Laminage. Estampage et matriçage, étirage, tréfilage. Traitements thermo-chimiques (cémentation). Traitements thermiques :

trempe, recuit, revenu. — Méthodes d'essais des matériaux : essais de traction, de dureté, de flexion, d'emboutissage, de pliage. Essais de fatigue. Essais de corrosion. — Métallographie microscopique. — Étude de la corrosion des métaux. Bibliographie. — O. 74-60. 75-60.

B-2922. Cours supérieur de chauffage, ventilation et conditionnement de l'air. — IV. — Compléments divers. — MISSENAUD (A.); Édité : Eyrolles, 61, Bd. Saint-Germain, Paris, Fr. (1960), 3^{ème} éditn rev. et augm., 1 vol. (16 × 25 cm), 314 p., 135 fig., 3 pl. h.-t., réf. bibl., NF 12,50. — Étude physiologique succincte du chauffage et de la ventilation. Mesures de la température. Recherches théoriques et expérimentales sur le chauffage et le rafraîchissement par l'air soufflé dans les locaux de grandes dimensions. — Emploi de l'ozone et des charbons actifs en ventilation. Considérations sur l'efficacité des différents modes de chauffage. Echanges entre l'air et l'eau dans les laveurs. Signification biologique de la température résultante. Développements sur les équivalences thermiques des ambiances; équivalences de passage, équivalences de séjour. Théorie analytique et calcul pratique des chauffages par panneaux rayonnants en élévation. Influence des conditions thermiques ambiantes sur la capacité de travail, la morbidité et la mortalité des ouvriers. Rappel sur le calcul des installations de chauffage à eau chaude à circulation naturelle avec distribution inférieure; effet inverse : régle par mélange entre le départ et le retour en thermosiphon. — Étude théorique et expérimentale de la température limite du plafond et des panneaux en élévation dans le chauffage par rayonnement. Étude théorique et expérimentale de la température limite du sol en chauffage par rayonnement. Nouveaux principes de chauffage dans les grands édifices (usines, églises). Chauffage localisé. — O. 66-60.

B-2923. Bois et charpente en bois. (Le matériau et son utilisation). — BROCHARD (F. X.); Édité : Eyrolles, 61, Bd. Saint-Germain, Paris, Fr. (1960), Collect. de l'I. T. B. T. P., 6, rue Paul Valéry, Paris, 1 vol. (16 × 25 cm), 256 p., nombr. fig., 8 fiches de fig. h.-t., NF 37. — L'ouvrage a obtenu le Prix du Livre technique « Bâtiment » attribué par la Fédération nationale du Bâtiment et des Activités annexes. — Il expose l'ensemble des notions qui ont été réunies au cours des dernières années et montre comment un matériau hétérogène comme le bois peut être cependant mis en formules, calculé suivant les règles de la résistance des matériaux et mis en œuvre de façon logique et rationnelle. — Nature et qualité des bois de charpente : essences courantes employées dans la construction; qualité des bois d'œuvre en fonction de leur origine; défauts principaux des bois d'œuvre; caractéristiques physiques des bois : humidité, durabilité, conductibilité et inflammabilité. — Caractéristiques des produits demi-finis : les sciages; classement d'aspect des bois bruts et usinés; le contreplaqué. — Caractéristiques mécaniques. Le bois et la résistance des matériaux : charges et surcharges usuelles; rappel des formules classiques de la résistance des matériaux; étude des pièces de section rectangulaire; flexion des poutrelles composées; continuité; systèmes simples de charpente; systèmes triangulés. — Les assemblages : assemblages classiques, clouage, boulonnage. — Le collage des bois de charpente. — O. 91-60.

B-2924. Mécanique physique. — I. La mécanique des solides réels. — LE BOITEUX (H.); Édité : Librairie polytechnique Ch. Béranger, 15, rue des Saints-Pères, Paris, Fr. — 1, Quai Winston-Churchill, Liège, Belg. (1960), 1 vol. (14 × 22 cm), xii + 373 p., 187 fig., NF 51. — L'ouvrage donne le texte du cours professé par l'auteur à l'École supérieure de Physique et de Chimie. — Théorie

mathématique de l'élasticité : aspect général de la déformabilité des solides; déformations et déplacements; contraintes; relations entre les contraintes et les déformations; problèmes d'élasticité bi-dimensionnels; problèmes plans; problèmes plans en coordonnées polaires; l'énergétique des déformations élastiques; propagation des ébranlements dans les solides élastiques. — Applications au calcul des contraintes : diverses méthodes de calcul des contraintes, sollicitations uniaxiales : tension, compression; quelques problèmes en coordonnées polaires; sollicitations de flexion et de torsion; solutions de certains problèmes de sollicitations composées. Analyse expérimentale des contraintes : étude des différentes méthodes d'analyse expérimentale; les méthodes extensométriques; la photoélasticimétrie; les méthodes analogiques. Les déformations non élastiques : déformations visco-élastiques; phénomènes de relaxation; éléments de la théorie de la plasticité; phénomènes de fatigue. Importante bibliographie. — O. 80-60.

B-2925. **Organisation de chantiers (Projet n° 302/1 de l'Agence européenne de Productivité).** SANSOM (R. C.); *Centre sci. tech. Bâtim.* (C. S. T. B.), 4, av. du Recteur-Poincaré, Paris, Fr. (déc. 1959), 1 vol. (21 × 29,5 cm); 188 p., nombr. fig., NF 14. — Rapport rendant compte des résultats d'une enquête effectuée pour le compte de l'Agence Européenne de Productivité par la Building Research Station de Grande-Bretagne, (analysée dans notre DT. 150 de juin 1960, n° 133 et B-2879). Cette enquête a porté sur neuf pays européens : Autriche, Belgique, Danemark, France, Grande-Bretagne, Pays-Bas, Italie, Norvège, Allemagne de l'Ouest. — Étude de la structure et de l'organisation générale des entreprises. La fonction d'estimation et l'élaboration des soumissions. Contrôle et direction des chantiers. Organisation et établissement des prévisions, élaboration des programmes. Les sous-marchés. Problèmes de la main-d'œuvre de chantiers. Primes de rendement. La sécurité sur le chantier. Dispositions relatives au bien-être du personnel. Equipements de chantier. Matériaux de construction. Comptabilité et contrôle des prix de revient sur les chantiers. Analyse des prix de revient et de la production. — O. 12-60.

B-2926. **Appointements et salaires en vigueur dans le Bâtiment et les Travaux publics du 1^{er} janvier 1958 au 3 décembre 1959.** — Textes fondamentaux. Grilles de salaires. Classement des localités. — Édité : *Le Moniteur des Travaux publics et du Bâtiment*, 32, rue Le Peletier, Paris, IX^e, Fr. (jan. 1960), numéro hors série formant supplément « Taux et Indices des Salaires » n° 508bis, (25 × 31 cm), 168 p., nombr. fig., NF 15. — Textes généraux : ouvriers, E.T.A.M., I.A.C. — Salaires minimaux départementaux (accords, décisions unilatérales, classement des localités). — Employés, dessinateurs, techniciens et cadres des cabinets d'architectes. — Salaire minimal national interprofessionnel garanti. — Indices divers. — O. 76-60.

B-2927. **L'isolation thermique des locaux d'habitation.** (Notions et calculs élémentaires. Réglementation). — BONHOMME (A.); *Éditions du Moniteur des Travaux publics*, 32, rue Le Peletier, Paris, IX^e, Fr. (1960), 1 vol. (15,5 × 24 cm), 183 p., 40 fig., 9 réf. bibl., NF 15. — Le problème de l'isolation des bâtiments revêt une importance spéciale, en raison principalement des techniques actuelles de construction légère et économique. — L'auteur du présent ouvrage a eu pour but de mettre à la disposition des techniciens un minimum de renseignements et de méthodes simples permettant de trouver les solutions admissibles dans la majorité des cas. — De nombreux exercices et exemples numériques illustrent l'exposé. — Notions théoriques.

Formule générale de transmission globale d'une paroi. Conductibilité thermique des matériaux homogènes. Calcul des coefficients K de transmission globale des murs; calcul des coefficients K de transmission globale des toitures, des planchers et des sols. Déperditions calorifiques des locaux. Calcul des coefficients volumétriques G d'isolation thermique. Les textes réglementaires. Commentaires et applications des règlements. Grilles simplifiées d'estimation de la valeur des coefficients K. Exemples numériques. — O. 78-60.

B-2928. **Manuel du peintre-vitrier.** — LE PETIT (A.); Édité : J.-B. Baillière et Fils, 19, rue Hautefeuille, Paris, VI^e, Fr. (1960), nouvelle édit., 1 vol. (13 × 19,5 cm), 446 p., 74 fig., réf. bibl., NF 20. — Généralités sur la profession du peintre et les aptitudes et connaissances indispensables. — Problèmes d'application des peintures; caractéristiques des huiles siccatives, des solvants, des pigments et colorants. Outillage. — Tableaux synoptiques du peintre. Subjectifs, produits et travaux appropriés. — Exemples de travail pratique, à l'intérieur et à l'extérieur. Peinturage des subjectifs métalliques. Nouveautés dans le domaine des peintures. Défauts et modes d'altération des films des peintures. Vitrerie. Dorure de bâtiment ou dorure à l'huile. Papiers peints. — O. 84-60.

B-2929. **Les plans d'urbanisme communaux et intercommunaux.** — ROSSILLON (P.); *Éditions Berger-Levrault*, 5, rue Auguste-Comte, Paris, VI^e, Fr. (1960), Collect. « L'Administration nouvelle », 1 vol. (14 × 22 cm), 274 p., 18 fig., NF 21, 95. — L'ouvrage groupe toutes les indications essentielles sur les plans d'urbanisme, dont la législation vient d'être renouvelée. — Organisation du Ministère de la Construction et organismes consultatifs. — Différentes sortes de plans d'urbanisme. — Communes tenues d'avoir un plan d'urbanisme. — Phases de la procédure des plans d'urbanisme directeurs. — Mesures de sauvegarde. Mesures d'exécution. Mesures destinées à favoriser les opérations d'urbanisme. Sanctions. Dispositions spéciales à la région parisienne. — La composition des plans d'urbanisme. — Bibliographie. — O. 62-60.

B-2930. **Les facteurs d'ambiance dans l'entreprise.** — *Commissariat général à la Productivité — Association française pour l'Accroissement de la Productivité* (A. F. A. P.); Édité : *Société auxiliaire pour la Diffusion des Éditions de Productivité* (S. A. D. E. P.), 11, rue du Faubourg Saint-Honoré, Paris, Fr., 1 vol. (21 × 27 cm), numéro hors série H, « Documents » au service de l'Expansion économique et technique, 167 p., nombr. fig. — Journées d'Information organisées par l'Association française pour l'Accroissement de la Productivité, les 18, 19 et 20 septembre 1958. — Texte des diverses communications présentées sur le dépoussiérage des ateliers, le conditionnement d'air et les conditions de travail, le rôle de la lumière et des couleurs, en tant que facteurs d'ambiance, la normalisation des couleurs et la sécurité, la musique dans l'entreprise, la protection contre le bruit, l'insonorisation dans le bâtiment. — E. 59570.

CDU 331.82 : 697 : 628.9 : 72.01 (061.3).

B-2931. **L'industrie devant l'énergie nucléaire.** III. Conférence de Stresa. (11-14 mai 1959). — Partie I. — Bilan des programmes européens. — Économie de l'énergie nucléaire. Financement des programmes. — *Organisation européenne de Coopération économique* (O. É. C. E.), (Agence européenne pour l'Énergie nucléaire), 2, rue André-Pascal, Paris, Fr. (1959), 1 vol. (15,5 × 24 cm), 289 p., nombr. fig., 3 pl. h.-t., NF 1200. — Texte des vingt-et-une communications consacrées principalement aux questions suivantes :

programmes nucléaires; prix de revient de l'énergie nucléaire; marché et prix de revient de l'énergie; financement des programmes nucléaires. — O. 23-60.

B-2932. **Législation de la construction** (Recueil de textes établis par le Service juridique du Conseil supérieur de l'Ordre des Architectes). Édité : C. E. L. S. E., 184, Bd. St-Germain, Paris, VI^e, Fr. (1960), 1 vol. (13,5 × 21 cm), *Collection Techniques et Architectures*, 446 p., NF 25. — L'ouvrage s'adresse aux architectes, ingénieurs, entrepreneurs, bureaux d'études, administrateurs d'immeubles. — Il donne la somme des principales dispositions en vigueur au 1^{er} janvier 1960. — On y trouve ce qui reste du code de l'urbanisme et de l'habitation, en son état actuel, ainsi que des grandes lois de base : expropriation, dommages de guerre et reconstruction, loyers. — L'ouvrage donne également le texte de nombreux règlements pratiques dont tout praticien doit avoir une connaissance précise, tels que les arrêtés de construction à Paris, les arrêtés divers du 14 novembre 1958 concernant la conception du gros œuvre, et autres documents analogues. — Une table alphabétique des matières comprenant de nombreuses rubriques facilite les recherches. — O. 82-60.

B-2933. **Le tunnel routier sous le Mont-Blanc.** — GALLAI (M.); Édité : *Département d'Information et de Relations extérieures de Synergie*, 29, 31, rue de Courcelles, Paris, VIII^e, Fr. (mai 1959), 1 vol. (23,5 × 30,5 cm), 34 p., 15 fig. — Plaquette éditée pour la Société Concessionnaire française pour la Construction et l'Exploitation du Tunnel routier sous le Mont-Blanc. — Exposé illustré sur l'extension du tourisme européen, l'accroissement des échanges économiques entre la France et l'Italie et les raisons qui ont amené à la construction d'un tunnel routier sous le Mont-Blanc. — Conditions du choix de l'emplacement du tunnel. Étude des conditions de percement et description de l'équipement utilisé. Caractéristiques du tunnel. Évolution du trafic probable. Avantages du tunnel sous le Mont-Blanc pour l'automobiliste européen. Problème du financement. — O. 68-60.

B-2934. **Encyclopédie des eaux de consommation.** — Cahier n° 6 (non spécialisé). — La filtration rapide. — SIRJEAN (G.); en vente dans les librairies spécialisées et chez l'auteur : 19, rue Erlanger, Paris, XVI^e, Fr. (1959), 38 p., 56 fig. h.-t., F 1 750. — Constitution générale des filtres rapides. — La perte de charge. — Les régimes de filtration et leur contrôle. Réglage manuel du débit d'une cellule filtrante. — Régulation automatique du débit d'une cellule filtrante : régulateurs asservis au niveau de restitution du filtre; régulateurs asservis au niveau de charge du filtre; le module Polhydra; débitmètres à pression différentielle. — Contrôle du débit d'une batterie filtrante. Commande des filtres. Filtres sous pression. — O. 70-60.

B-2935. **L'aide-mémoire du chauffage central et des installations connexes.** — EURIAT (R.); en vente chez l'auteur : 17, Quai de la Pêcherie, Pont-Sainte-Maxence, Oise, Fr. (s. d.), 10^e édit., 1 vol. (21 × 26,5 cm), n° 106054, 200 p., nombr. fig., NF 45. — Recueil de renseignements pratiques indiquant notamment les caractéristiques des équipements et les adresses des constructeurs. — Étude des divers types de chaudières. — Charbons pour chauffage central. — Brûleurs pour chauffage automatique au mazout. — Conduits de fumée. Radiateurs, convecteurs, aérothermes, ventilateurs, filtres à air. — Canalisations, isolation. — Robinets, circulateurs, pompes, vases d'expansion, réservoirs, citernes à mazout, gaines et conduits. — Grandes cuisines, buanderies, étuves, chambres froides, épuration d'eau. — Règlements en vigueur. — O. 79-60.

B-2936. Barrages et bassins de retenue. — *Les Congrès et Colloques de l'Université de Liège*, Belg. (1959), vol. 14, 2 broch., (16 × 24 cm), texte de deux communications présentées au Colloque international tenu à l'Université de Liège, les 4 et 5 mai 1959. — *Sédimentation dans les barrages-réservoirs et moyens de lutte*. — DUQUENOIS (H.); 30 p., (p. 197-226), 3 fig. — Aperçu des techniques de lutte contre la sédimentation des réservoirs. — Comportement des suspensions solides dans l'eau. Arrivée des eaux turbides dans une retenue. — Propagation du courant de densité de fond. — Courants de densité intermédiaires. Remous de densité, sédimentation, soutirages. — Évolution des réserves soumises à sédimentation. — Énergies de transport. Transport-approche et transport-dégrèvement par ondes de chasse. Problèmes d'aval. Équipement en vannes des barrages. — Observations au barrage d'Oued Fodda du 24 novembre au 21 décembre 1937; observations au barrage de Ghrif du 2 au 20 avril 1939. — Opérations au barrage d'Irill Emda. — Étude de la sédimentation des barrages-réservoirs en Algérie et moyens mis en œuvre pour préserver les capacités. — THEVENIN (J.); 34 p. (p. 227-260), 18 fig., 7 fig. h.-t., 23 réf. bibl. — Mécanisme de la sédimentation. État de sédimentation des barrages algériens. — Étude des sédiments déposés dans les retenues des Cheurfas et de l'Oued Fodda. — Moyens mis en œuvre pour préserver les capacités : reboisement, défense des sols, décantation préalable des eaux, systèmes de chasses, dragages. — O. 72-60, O. 73-60.

B-2937. Abaques et tableaux pour le calcul rapide des constructions métalliques. SCHNADT (H.-M.); *Centre Belgo-Luxembourgeois d'Information de l'Acier*, 47, rue Montoyer, Bruxelles 4, Belg. (1959), 2^{ème} édition, 1 vol. (21 × 33 cm), 71 p., fig., NF 52.00. — Calcul des moments d'inertie. Caractéristiques générales des profils laminés. Flexion et traction simples; calcul des flèches. Compression simple; flexion composée. Rivures. Poids des différents matériaux de construction, des profils laminés et des tôles, des rivets et des boulons. — O. 320-59.

B-2938. Colloque sur l'utilisation des méthodes d'essais de sols pour l'étude et la construction des routes (Symposium on application of soil testing in highway design and construction). *American Society for Testing Materials*, 1916, Race St., Philadelphie 3, Pa., U.S.A., (1959), ASTM Spec. tech. Public. n° 239, 1 vol. (15,5 × 23,5 cm), iv + 127 p., nombr. fig., nombr. réf. bibl. § 4.00. — (Soixante-et-unième Congrès annuel de l'A.S.T.M. à Boston, Mass., 26, 27 juin 1958). — Texte des communications et des discussions : Étude des sols dans la technique routière, par E.-S. BARBER. — Constatations faites à l'occasion de l'emploi de sondeuses à carottages, de cuillers à moteur, et de l'application des méthodes de résistivité électrique sur l'autoroute à péage de Pensylvanie, par D.-G. SHURIC et E. J. YODER. — Le programme des travaux de reconnaissance des sols et de l'établissement de cartes géologiques dans l'Illinois, par N. CHRYSAPOPOULOS. — Recherches sur les sédiments déposés le long de la rive Nord du Saint-Laurent à Québec, par R.-W.-J. PRYER et K.-B. WOODS. — Valeur des résultats des essais de sol dans l'étude des programmes locaux et régionaux de construction de routes, par M. EKSE. — Méthodes utilisées en laboratoire pour le compactage des sols granulés, par E.-J. FELT. — Les courbes teneur en eau-densité du Service des Routes de l'Ohio, par J.-G. JOSLIN. — Index des caractéristiques de compactage, par J.-L. MCRAE. — O. 59-60.

B-2939. Méthodes d'essais des sols. (Nomenclature et définitions. Méthodes courantes. Méthodes recommandées.) — (Procédure for

testing soils. — Nomenclature and definitions. Standard methods. Suggested methods). — *American Society for Testing Materials (A. S. T. M.)*, 1916 Race St., Philadelphia 3, Pa., U.S.A. (avr. 1958), (ASTM Commit. D-18 on soil for Engng purposes), 1 vol. (15 × 23 cm), viii + 540 p., nombr. fig., réf. bibl., § 6.75. — Étude des méthodes d'essais relatives à la reconnaissance des sols et au prélèvement d'échantillons. Caractéristiques physiques et physico-chimiques et procédés d'identification des sols. Propriétés physiques : perméabilité, variation de volume, consolidation, résistance à la compression et au cisaillement. — Essais relatifs aux terrains de fondation, aux couches de base et aux couches de surface des chaussées et pistes d'aérodromes, à la technique de la stabilisation des sols, aux barrages en terre, digues et remblais. — Essais de portance des sols; essais de chargement de pieux. Tamis pour essais. — O. 60-60.

B-2940. La lutte contre la pollution atmosphérique (Air pollution control). FAITH (W. L.) Edit.: *John Wiley and Sons, Inc.*, 440 Fourth Avenue, New York 16, N. Y., U. S. A. (1959), 1 vol. (15 × 23,5 cm), vii + 259 p., nombr. fig., nombr. réf. bibl., § 8.50. — Ouvrage d'initiation destiné à faciliter la compréhension des problèmes de pollution atmosphérique et à présenter les méthodes de lutte appropriées. — Aperçu historique. Influence de la pollution atmosphérique (corrosion, dommages à la végétation, à la santé des habitants des villes). — Relation entre la pollution atmosphérique et la météorologie. Étude du rôle joué par les fumées des combustibles solides, liquides ou gazeux, et par les poussières, les cendres volantes, les gaz, les odeurs nuisibles, les gaz d'échappement des véhicules automobiles. — Étude détaillée des méthodes et dispositifs conçus pour réduire au minimum ou éliminer la pollution atmosphérique. — O. 61-60.

B-2941 Comptes rendus de la Société pour l'Analyse expérimentale des Contraintes (Proceedings of the Society for experimental Stress Analysis). *Society for experimental Stress Analysis*, Central Square Station, P. O. Box 168, Cambridge 39, Mass., U. S. A. (1959), 1 vol. (22 × 28,5 cm), vol. 17, n° 1, xii + 180 p., nombr. fig., nombr. réf. bibl. — Mémoires présentés à différentes réunions de la Société, notamment : — Matière plastique « Photo-stress » pour la mesure de la distribution des contraintes autour de rivets : p. 23. — Étude du comportement d'extensomètres utilisés à haute température : p. 67. — Étude photoélastométrique de la distribution des contraintes dans un cône soumis à une pression répartie au sommet : p. 85. — Méthode de détermination des propriétés mécaniques des métaux aux taux de déformation élevés : p. 99. — O. 86-60.

B-2942. Conférence sur le calcul électronique (Conference on electronic computation). *Amer. Soc. civ. Engrs (A. S. C. E.)*, 33 W. 39 th St., New-York 18, N. Y., U. S. A. (1959), 1 vol. (14 × 21,5 cm), *Conference Papers*, iii + 436 p., nombr. fig., réf. bibl., § 10.00. — Les mémoires présentés à cette conférence, tenue à Kansas City, les 20-21 novembre 1958, sont groupés en quatre chapitres : généralités; programmes; méthodes mathématiques, et calcul des ouvrages. — Le dernier chapitre traite notamment du calcul des ouvrages suivants : portiques rigides; ponts à poutres continues à moment d'inertie constant ou variable; structures de ponts en treillis; fermes de couvertures. — O. 69-60.

B-2943. Manuel pratique du béton précontraint (Practical prestressed concrete). PRESTON (H. K.); Edit.: *McGraw-Hill Publishing Company Ltd*, McGraw-Hill House, 95 Farringdon Str., Londres EC4, G-B (1960), 1 vol. (15,5 × 24 cm) X + 340 p., nombr. fig., 89 s./— L'ouvrage s'adresse aux ingénieurs, et leur

propose les indications de pratique courante sur le calcul et la réalisation des ouvrages en béton précontraint. — De nombreux exemples numériques explicitent l'étude des méthodes de calcul. Les procédés et les dispositifs de précontrainte sont soumis à une étude critique détaillée, et une place importante est réservée aux armatures de précontrainte généralement utilisées aux U. S. A. — Notions fondamentales; caractéristiques particulières au béton précontraint. — Méthodes de calcul. Propriétés des matériaux employés. La précontrainte par fils adhérents et la précontrainte par fils en gaines. Règlements américains sur le béton précontraint. — Calcul d'un pont, d'une couverture en béton léger, d'une poutre mise en post-tension. — Conception et réalisation des poutres de ponts, dalles et ouvrages continus. O. 57-60.

B-2944. Troisième Congrès de la Fédération internationale de la Précontrainte, Berlin 1958 Discussions (Third Congress Fédération internationale de la Précontrainte, Berlin 1958 — Discussion). — *Cement and Concrete Association, (C. A. C. A.)*, 52 Grosvenor Gardens, Londres S. W. 1, G.-B. (1959), 1 vol. (16 × 25 cm), viii + 209 p., nombr. fig., 1 pl. h.-t. — Texte des discussions qui ont eu lieu sur les trois thèmes principaux du Congrès. — Développements dans les méthodes de calcul. — Progrès réalisés dans la technique de mise en précontrainte sur le chantier, notamment en ce qui concerne l'injection de mortier sous pression, les ancrages, la diminution du frottement et les mesures de sécurité. — Progrès réalisés dans la fabrication d'éléments précontraints préfabriqués en usine ainsi que dans leur utilisation et leur montage sur le chantier. — Le texte de chaque intervention est reproduit dans la langue de son auteur. — O. 94-60/A.

B-2945. La plomberie du bâtiment (Plumbing in building). WEBSTER (S.); Edit.: *B. T. Batsford Ltd*, 4, Fitzhardinge Street, Portman Square, W. 1, G.-B. (1957), 1 vol.; (14 × 22,5 cm), ix + 148 p., 104 fig., réf. bibl. — 25 s/ — L'ouvrage présente sous une forme facilement accessible une étude détaillée des matériaux, appareils et installations modernes de la plomberie de bâtiment. De nombreux dessins illustrent le texte. — Adduction d'eau, traitement, distribution de l'eau. Principes d'installation des canalisations. — Fournitures de l'eau chaude. — Étude des canalisations en plomb ou en alliage de plomb, en cuivre, en fer ou en acier, en matières plastiques. Problèmes de la corrosion des canalisations. Technique de la pose des installations. — Procédés d'adoucissement de l'eau. Conduites pour l'évacuation des eaux usées, branchements d'égouts. Tuyaux de chute et de descente. Installations sanitaires. — O. 35-60.

B-2946. Exercices pratiques pour le calcul des constructions (Problems in engineering structures). ASHBY (R. J.), CHILVER (A. H.); Edit.: *Edward Arnold (Publishers) Ltd.*, 41 Maddox Street, Londres, W. 1, G.-B. (1958), 1 vol. (14,5 × 22 cm), iv + 168 p., nombr. fig., 16 s/ — Cet ouvrage, principalement destiné aux étudiants, expose de façon simple les données élémentaires de la résistance des matériaux. — En outre, l'importance de procédés nouveaux comme le calcul à la rupture a amené l'auteur à en indiquer le principe et l'application. Contraintes de cisaillement et moments fléchissants. Systèmes isostatiques à articulations. Déformation des systèmes isostatiques. Étude des systèmes surabondants. — Déformations et contraintes dans les poutres. Béton armé. Poutres continues. Portiques. Arcs et éléments annulaires. Ponts suspendus. Lignes d'influence. Pièces comprimées. Flexion plastiques des poutres. Assemblages rivés et soudés. Poutres mixtes bois et acier. — O. 63-60.

B-2947. Évolution des procédés d'épuration des eaux usées (Ausarbeitung von Abwasser — reinigungsverfahren). LAPSCHIN (M. J.); Édit. : *B. G. Teubner Verlagsgesellschaft*, Goldschmidtstrasse 28, Leipzig, Cl. All. (1959), 1 vol. (17 × 23), vi + 204 p., 25 fig., DM 14,90. — Le présent ouvrage traduit du russe en allemand par H. K.-F. Busch, expose les résultats des recherches et constatations faites par les techniciens soviétiques dans le domaine du traitement des eaux usées industrielles. — Élimination ou transformation des déchets nocifs contenus dans les eaux usées. — Analyses des eaux usées; réutilisation de l'eau. Détermination de la nature et du volume des eaux usées. — Caractéristiques générales des eaux usées et de leurs déchets; étude microbiologique. — Sédimentation, filtration, distillation, coalescence, extraction, cristallisation, absorption, coagulation. — Méthodes chimiques et physico-chimiques de transformation des déchets. — Procédés biochimiques d'épuration. — Importante bibliographie. — O. 33-60.

B-2948. Les centrales thermiques (Problèmes de construction) — (Dampfkraftwerke, — Bautechnische Probleme). HOFFMAN (Cl.); Édit. : *B. G. Teubner*, Goldschmidtstrasse 28, Leipzig Cl. All. (1959), 1 vol. (17 × 23 cm), vii + 147 p. 146 fig., 259 réf. bibl., DM. 17.50. — L'ouvrage est destiné à fournir aux techniciens chargés de l'établissement de projets de centrales thermiques l'ensemble des notions fondamentales nécessaires. — Rôle des centrales thermiques. Choix du site et caractéristiques du terrain : dimensions, pente, sol de fondation, influences sur le voisinage (direction des vents dominants). — Étude des éléments essentiels de la centrale thermique : installation de stockage, de préparation et de manutention du charbon, bâtiment de la centrale, cheminées, tours de refroidissement. — Étude de l'évolution des centrales thermiques en Allemagne : disposition de la salle des machines; choix de la forme des bâtiments; revêtements de façade en verre, en panneaux. Réalisation de l'ossature et de la couverture. Technique de fondation. Éclairage, ventilation. — O. 32-60.

B-2949. Les organes d'obturation dans les conduites (Absperrorgane in Rohrleitungen). VOLK (W.); Édit. : *Springer-Verlag*, Heidelberg Platz 3, Berlin-Wilmersdorf, All. (1959), 1 vol. (16 × 23,5 cm), vii + 178 p., 145 fig., 34 réf. bibl., DM. 25.50. — L'ouvrage donne un aperçu des appareils existants (caractéristiques hydrauliques, fonctionnement, conditions d'emploi). Il fournit des exemples de calcul des organes les plus importants. — Soupapes. Tiroirs. Tiroirs annulaires. Soupapes à papillon. — Clapets de retenue. Clapets de ventilation. — Commandes mécaniques, hydrauliques, pneumatiques. Dispositifs de réglage. — O. 46-60.

B-2950. Aide-mémoire sur les centrales hydrauliques (Taschenbuch Wasserkraftanlagen). RAUCH (A.); Édit. : *Franckh'sche Verlagshandlung W. Keller & Co*, Pfisterstrasse 5/7, Stuttgart 0, All. (1959), 1 vol. (11 × 15 cm), 430 p., 518 fig., DM. 34. — L'ouvrage s'adresse aux entreprises de distribution d'électricité, aux ingénieurs-conseils, aux étudiants, aux autorités administratives. — Rappel des notions fondamentales d'hydraulique et de résistance de matériaux. Étude des divers types de turbines hydrauliques. Description des barrages fixes, des barrages à vannes-wagons, des barrages à clapets, des vannes-segment, des vannes à secteur, des vannes à rouleau, des vidanges de fond, des échelles à poissons. — Étude des prises d'eau, des grilles, des organes de fermeture, galeries, chambres d'équilibre,

conduites. Description des divers types de transmissions. — Établissement des projets de centrales hydroélectriques. Possibilités de transformations d'installations anciennes. — Stations d'accumulation par pompage. — Exploitation et entretien des centrales. Notions d'électrotechnique. Tables. — O. 34-60.

B-2951. Le poêle à mazout (Der Ölofen). BÄHR (H.); Édit. : *Carl Marhold Verlagsbuchhandlung*, Berlin-Charlottenburg 9, All. (1960), 2^{ème} édit., 1 vol. (15 × 21 cm), vii + 80 p., 63 fig., DM. 6. — Brochure pratique à l'usage des marchands de poêles, fumistes, marchands de mazout et propriétaires et destinée à les familiariser avec la constitution, la pose, l'entretien et le dépannage des poêles. — Principales divisions de l'ouvrage : Le principe du brûleur à vaporisation. Le mazout. Les éléments et la constitution du poêle à mazout. Le fonctionnement du poêle. La pose. Les dérangements et leur élimination. Le rendement. Alimentation automatique des poêles. Le réglage thermostatique. Le chauffage de plusieurs locaux. — O. 64-60.

B-2952. Détermination des limites d'emploi des procédés d'injection de ciment et de produits chimiques lors des travaux de consolidation ou d'étanchéité dans les mines et dans l'industrie de la construction (Zur Bestimmung der Grenzen bei Poreninjektionen mit Zement und Chemikalien bei Verfestigungs- und Abdichtungsarbeiten im Bergbau und Baugewerbe). DONEL (M.); Édit. : *Akademi-Verlag GmbH*, Leipziger Strasse 3-4, Berlin W 1, All. (1958), 1 vol. (17 × 24 cm), *Freiberger Forschungshäfte A/105 Bergbau*, 66 p., 43 fig., 38 réf. bibl., DM. 6. — Ce fascicule constitue une étude détaillée des procédés d'injection sous pression. Il passe successivement en revue les points suivants : Importance du procédé d'injection dans l'industrie minière et l'industrie de la construction. — Aperçu général sur la technique de l'injection. — Considérations techniques et économiques. — Méthodes de recherches et appareils utilisés. — Essais et résultats. — Comparaison des résultats d'essais avec les indications fournies par la littérature technique. — O. 90-60.

B-2953. Encyclopédie allemande de la construction (Deutsche Bau-Enzyklopädie). *Ministerium für Bauwesen, Deutsche Bauakademie, Deutsche Demokratische Republik*, All. (1959), 2 vol. (21,5 × 31 cm), 6 fasc., 1200 p., nombr. fig. — Règlement sur la préfabrication lourde. — Implantation des établissements industriels. Urbanisme et construction de logements en économie socialiste. Construction de cinémas. — Revêtements de sols; matériaux de couverture; travaux de peinture; équipements de chantier; profilés; isolation acoustique; convecteurs; radiateurs; installations sanitaires; bétons spéciaux. — O. 112-60.

B-2954. Portiques et poutres continues (Rahmentragwerke und Durchlaufträger). GULDAN (R.); Édit. : *Springer-Verlag*, Mölkerbastei 5, Vienne I, Autr. (1959), 6^e édit., 1 vol. (17 × 25 cm), xxiii + 501 p., 809 fig., réf. bibl., \$ 20. — La cinquième édition ayant été rapidement épuisée, les éditeurs et l'auteur ont à l'occasion de la nouvelle édition (revue par H. REIMANN), apporté de nombreuses adjonctions et compléments. — La première partie de l'ouvrage, qui est consacrée aux notions fondamentales du calcul statique, a été notamment augmentée d'un chapitre qui traite des systèmes de portiques à nœuds indéplaçables et à nœuds déplaçables. — La deuxième partie

est réservée aux applications pratiques. Elle a été complétée par des exemples numériques qui figurent déjà dans l'ouvrage de l'auteur sur la méthode de Cross, et qui permettent ainsi une comparaison de cette méthode de calcul avec le procédé des angles de rotation. — La troisième partie comporte de nombreuses tables pour le calcul des portiques et des poutres continues. — O. 36-60.

B-2955. Colloque sur l'adhérence entre les armatures et le béton et sur la formation de fissures dans les constructions en béton armé, Stockholm 1957 (Symposium on bond and crack formation in reinforced concrete, Stockholm 1957). — *Réunion internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions* (R. I. L. E. M.); Svenska Forskningsinstitutet för Cement och Betong, Drottning Kristinasväg 26, Stockholm, Suède (1959), vol. IV, (21 × 29,5 cm), 75 p., 7 fig. — Texte en français et en anglais des neuf communications. — Adhérence entre les armatures et le béton : essais de courte durée, par S. T. A. ODMAN. — Formation de fissures dans les constructions en béton armé : résultats d'essais et mesures de l'espacement et de la largeur des fissures, par R. L'HERMITE et J. LYSE. — Essais de longue durée : fatigue, par R. L'HERMITE et J. LYSE. — Influence de l'adhérence et de la fissuration sur la corrosion de l'armature, par C. A. LOBRY de BRUYN. — Influence de l'adhérence et de la fissuration sur la rigidité en flexion, par A. M. HAAS. — Ancrage et liaison par adhérence des armatures, par M. de ROCHA. — Théorie sur l'adhérence et la formation des fissures, par S. T. A. ODMAN. — Règles et spécifications simplifiées concernant l'ouverture des fissures dans les différents pays, par A. M. HAAS. — Recommandations pour des essais sur l'adhérence et la formation des fissures, par M. de ROCHA. — O. 71-60.

B-2956. Dictionnaires techniques (Műszaki értelmező szótár). *Akadémiai Kiadó*, Budapest, V, Alkotmány U. 21, Hongr., 5 vol. (14,5 × 20,5 cm) : I — *Architecture* (Építőanyagok). PALOTAS (L.); 174 p., Ft. 45. — II — *Electro-technique générale* (Általános elektrotechnika). KOVACS (K. P.); 236 p., Ft. 55. — III — *Hydraulique et hydrologie appliquée* (Hidraulika és műszaki hidrologia). MOSONYI (E.); 156 p., Ft. 45. — IV *Mécanique appliquée* (Műszaki mechanika). PALOTAS (L.); 167 p., Ft. 45. — V *Machines électriques* (Villamos gépek) KOVACS (K. P.); 164 p., Ft. 35. — Chaque volume comporte la définition en hongrois des principaux termes techniques. Cette définition est suivie de l'indication du terme technique correspondant en allemand, en anglais et en russe. — Un index alphabétique hongrois, allemand, anglais et russe facilite les recherches. — O. 50-60, O. 51-60, O. 52-60, O. 53-60, O. 54-60.

B-2957. Comptes rendus du Deuxième Congrès japonais sur les essais de matériaux (Proceedings of the Second Japan Congress on testing materials). — *The Japan Society for Testing Materials*, Science Council of Japan, Ueno Park Kyoto, Japon, (1959), 1 vol. (22 × 27,5 cm), ix + 244 p., nombr. fig., nombr. réf. bibl. — Texte des mémoires présentés au Congrès qui s'est tenu à Kyoto les 14 et 15 octobre 1958. — Ces mémoires sont présentés groupés sous trois rubriques : matériaux métalliques (ferreux et non-ferreux) — 36 communications. — Matériaux non métalliques : 25 communications, réparties comme suit : bois — 2; béton — 10; argile — 2; verre — 2; matières plastiques — 3; caoutchouc — 2; divers — 4. — Méthodes et appareils d'essai — 6 communications. — O. 83-60.

(Reproduction interdite.)

SEPTEMBRE 1960

Treizième Année, N° 153

Série : CONSTRUCTION MÉTALLIQUE (35)

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 22 MARS 1960

sous la présidence de **M. P. LORIN,**

Président de l'Institut de Recherches Appliquées du Métal,
Ancien Président de la Chambre Syndicale des Entrepreneurs de Constructions Métalliques de France,
Vice-Président de l'Association Française des Ponts et Charpentes



(Photo Bâtir, H. Fréchaux.)

NOUVEAU PALAIS DES SPORTS, PORTE DE VERSAILLES

Ossature en acier — Dôme géodésique en alliage d'aluminium

par **M. J. MONGIN,**

Chef du service technique des Anciens Établissements Eiffel

CHAMBRE SYNDICALE

DES ENTREPRENEURS DE CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES DE FRANCE
ASSOCIATION FRANÇAISE DES PONTS ET CHARPENTES

AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

La séance de ce soir est consacrée à un exposé que va nous faire M. Mongin sur la réalisation de la couverture du nouveau Palais des Sports à la Porte de Versailles. Vous savez que l'ancien vel d'hiv a disparu l'année dernière et que la question s'est posée de faire une salle provisoire pour abriter les manifestations de l'ancien vel d'hiv. La décision a finalement été prise d'installer ce bâtiment provisoire à la Porte de Versailles, près des Palais de l'Exposition permanente. L'étude et la réalisation de cette construction ont été confiées à l'architecte M. Dufau qui a eu un problème complexe à résoudre, étant donné la nature de la salle à réaliser, la nature du terrain, et le court délai accordé. Pour la couverture, M. Dufau a songé à l'utilisation d'un procédé mis au point en Amérique par la Kaiser Aluminium and Chemical Sales, Inc., qui est une couverture en alliage léger avec dôme sphérique et l'objet de cet exposé sera plus particulièrement cette couverture.

J'ai maintenant le devoir, si je puis dire, de vous présenter le conférencier. Agréable devoir, car c'est pour moi un très grand plaisir de vous présenter M. Mongin, qui est un très ancien collaborateur et un très vieil ami.

M. Mongin n'est évidemment pas très connu ici car il a fait une longue carrière outre-mer. M. Mongin est un ancien élève de la Faculté des Sciences de Paris et il est entré comme ingénieur au service des Établissements Eiffel en 1929. Après un court séjour d'instruction aux bureaux d'études de Levallois-Perret, il est parti en Extrême-Orient à l'Agence d'Indochine, en 1931, et il a servi en Indochine d'une façon ininterrompue de 1931 à 1957.

L'agence d'Extrême-Orient lui a permis d'acquérir une expérience, son activité étant assez multiple et non seulement il a eu à suivre des constructions métalliques, mais également toutes sortes de travaux de génie civil.

Parmi les importants travaux auxquels il a participé, je peux citer la réalisation des appuis de tous les ponts de la ligne de chemin de fer reliant Tourane à Nha-Trang, Le tronçon de 400 km qui manquait pour réaliser intégralement la liaison depuis la Chine jusqu'à Saïgon était le plus difficile.

Les ouvrages d'art comportaient en particulier la mise en place de cent dix-huit travées de ponts métalliques de 50 m de portée. M. Mongin a participé à l'étude des appuis et à l'étude du montage de ces cent dix-huit travées de chemin de fer en porte-à-faux. Il a travaillé au grand marché en béton armé de Vientiane au Laos. Il a fait des appontements en béton armé à Tourane, à Nha-Trang; des ponts en béton armé, en particulier des ouvrages continus dont trois font environ 240 m de portée. Ces ouvrages étaient difficiles à réaliser vu leur situation en pleine brousse, éloignés de tout centre et sur des rivières sujettes à des crues violentes et soudaines.

Enfin il a travaillé à des systèmes de ponts standards métalliques pour le Génie. Le dernier gros travail qu'il a fait en Extrême-Orient a été l'étude des fondations à air comprimé en mer de l'appontement du port de Kompong-Som (Cambodge) et il est rentré en France en 1957, au moment où les Établissements Eiffel exécutaient la charpente du Pavillon de la France à Bruxelles.

Plus récemment, c'est lui qui, en liaison avec la Kaiser Aluminium put mener à bien l'étude du dôme de la porte de Versailles, étude de réalisation et de montage.

Ce dôme fait 61 m de diamètre, c'est le plus grand dôme en aluminium réalisé, semblable à celui qui a été exécuté directement par l'Aluminium Ltd à Moscou cet été, et sans plus attendre je vais lui passer la parole.

RÉSUMÉ

L'auteur précise le problème posé à l'architecte :

- construire sur un terrain polygonal une salle pour la présentation de spectacles sportifs;
 - faire une construction provisoire;
 - construire rapidement;
- et il explique pourquoi la solution adoptée fut un dôme Kaiser de 61 m de diamètre auquel il fut adjoint une galerie complémentaire de 4 m de largeur.

Il décrit ensuite la superstructure :

- la constitution particulière du dôme lui-même qui est examinée dans le détail;
- et l'ossature sur laquelle repose la coupole.

Il précise comment les efforts principaux sont transmis à l'infrastructure en béton armé.

Puis il aborde le principe de calcul de ce dôme et en décrit le montage.

SUMMARY

The author specifies the problem presented to the architect :

- to build a hall for the holding of sports events on a polygonal ground,
 - to make a temporary structure;
 - to build quickly;
- and he explains why the solution adopted was a 200 ft diameter Kaiser dome, to which was added a gallery 13.1 ft wide.

He then describes the superstructure :

- the special design of the dome itself, which is studied in detail;
- and the framework supporting the dome.

He indicates how the main stresses are transmitted to the reinforced concrete infrastructure.

Then he deals with the principle of calculation of this dome and describes its mounting.

EXPOSÉ DE M. MONGIN

Introduction.

La construction du nouveau Palais des Sports au Parc des Expositions de la porte de Versailles a provoqué dans la presse et dans le public un mouvement de curiosité ; il en fut de même aux États-Unis où ce type de construction moderne par le matériau employé et sa structure particulière, est largement utilisé. Ses applications en sont variées : théâtre en rond, auditorium, salle de sports et de réunions, banques, supermarkets, etc...

Nous allons examiner en détail le cas particulier du Palais des Sports et nous nous en tiendrons d'ailleurs, à la partie métallique, alliages légers et acier, malgré l'intérêt que présenterait une étude d'ensemble du bâtiment.

Problème.

Le problème posé était le suivant :

a) Construire sur le terrain polygonal pris dans l'enceinte du Parc des Expositions, une salle permettant la présentation de tous les spectacles sportifs autres que les compétitions cyclistes ;

b) Établir un édifice provisoire utilisé jusqu'à la construction du Palais des Sports définitif ;

c) Construire rapidement pour combler le vide laissé par la démolition du vélodrome d'hiver.

Ces données imposaient donc logiquement : un bâtiment circulaire préfabriqué et en majeure partie récupérable.

Solution adoptée.

Une couverture légère par un dôme Kaiser de 61 m de diamètre (dimension maximale actuelle) fut choisie, mais le terrain permettant l'inscription d'un cercle de 74 m de diamètre, une galerie complémentaire circulaire lui fut adjointe. Les *Établissements Eiffel* furent chargés de l'exécution et du montage de toute la partie métallique : dôme, portiques d'appui et annexes, gradins.

Le dôme Kaiser en alliages légers, couverture du nouveau Palais des Sports, ne constitue pas dans sa catégorie un record de portée. Son diamètre de 61 m le place assez loin du dôme en acier de 116 m de diamètre réalisé à Bâton-Rouge en Louisiane, mais ce record sera dépassé très prochainement par un dôme de 120 m de diamètre dont la *Compagnie Kaiser* achève les plans. Il présente toutefois un intérêt certain, car il n'existe au monde que deux exemplaires de cette construction, l'un à Moscou qui abrita les stands américains de l'exposition internationale de 1959 (tous les éléments de cette construction avaient d'ailleurs été importés des États-Unis et le montage exécuté par une équipe américaine), l'autre à la porte de Versailles, exécuté entièrement en France (matières, usinage et montage).

Description. Le dôme est constitué par une calotte sphérique prise dans une sphère de 61,00 m de diamètre, il réalise une coque dont l'extrados est matérialisé par une ossature tubulaire en alliage d'aluminium disposée suivant un réseau hexagonal couvrant toute la surface. L'intrados est défini par un système de feuilles cintrées découpées en losange dont les grandes diagonales ou

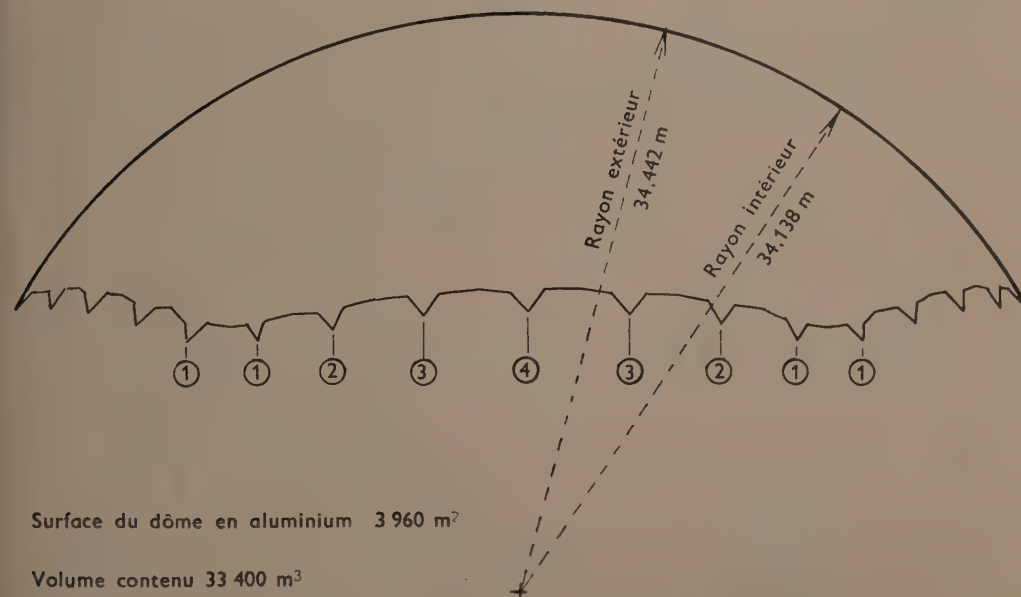


FIG. 1.

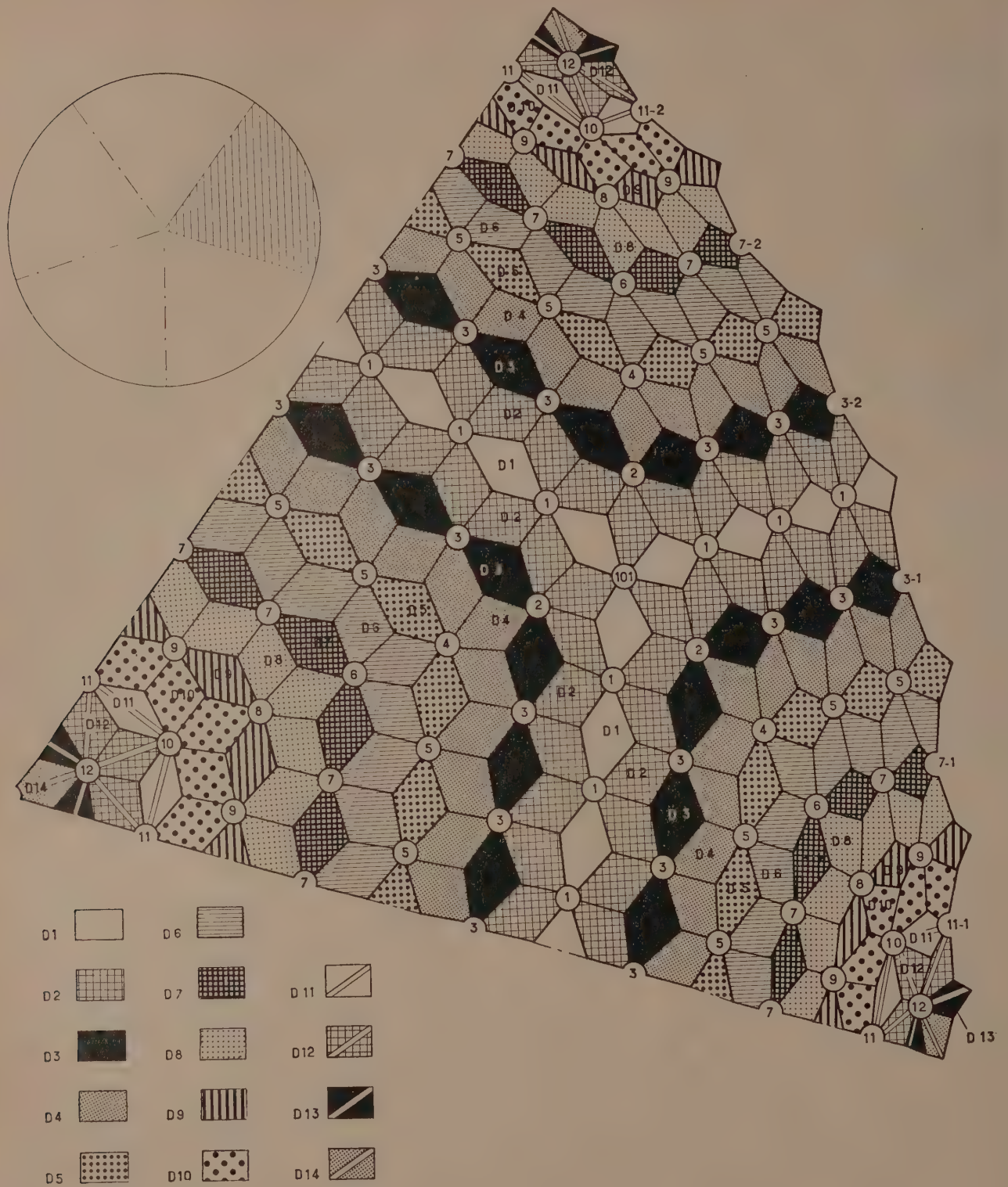


FIG. 2.

Plan de montage des éléments.

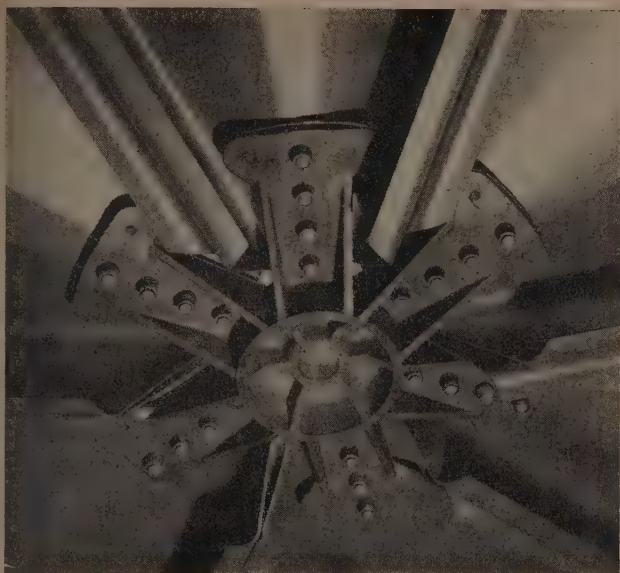


FIG. 3. — Gousset en étoile.

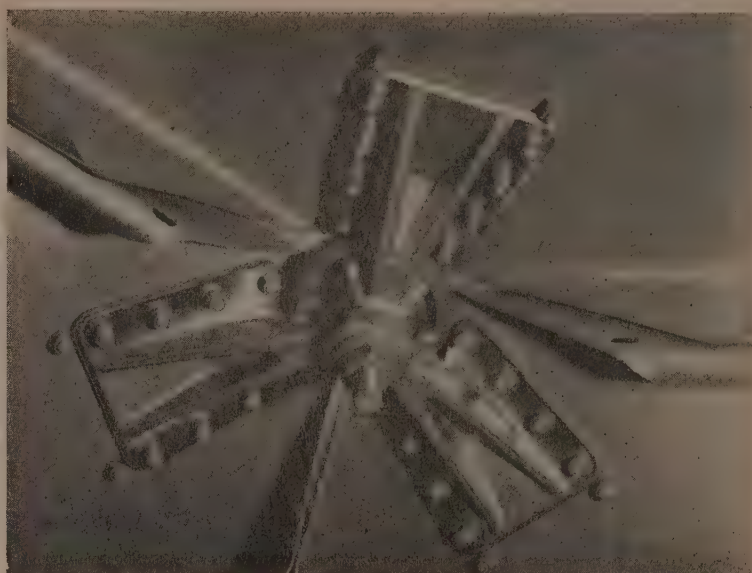


FIG. 5. — Moyeu (hub).

(Photos H. Baranger, Paris.)

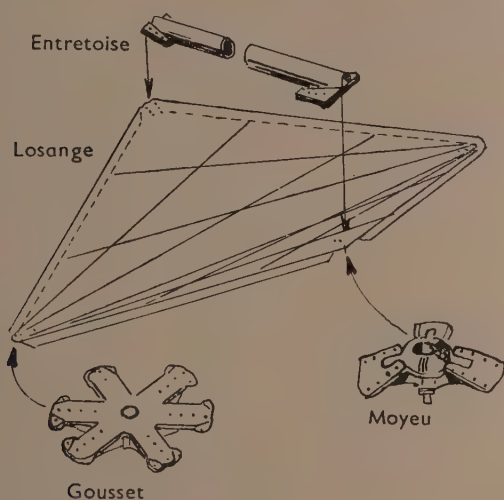


FIG. 4.

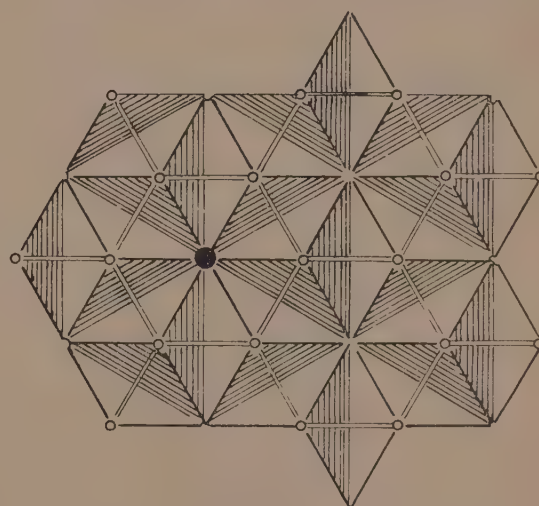


FIG. 6.

noes dessinent un réseau triangulaire, les deux surfaces sont solidarisées par des attaches spéciales rivées et boulonnées. La distance entre les deux parois est de 30 cm.

L'ensemble est calculé comme une coque sphérique mince et homogène. La bordure inférieure du dôme est faite de cinq arcs de grands cercles légèrement inclinés sur l'horizontale, il en résulte une division de la coupole en cinq quartiers égaux dont les traces des plans bissecteurs donnent cinq axes de symétrie pris comme axes de référence (points 4, fig. 2).

L'élément de base est constitué par un panneau en losange en alliage (Al.Mg.Si) (charge de rupture 32 kg/cm^2 — limite d'élasticité 28 kg/cm^2 — résistance

au cisaillement 21 kg/cm^2), les pliages légers rayonnants partant des extrémités de la grande diagonale (inclinaison $12,5$ et 25°) produisent un cintrage du losange. Le creux obtenu est de 30 cm, les deux extrémités de la petite diagonale sont réunies par une entretoise en Duralinox, diamètre 10 cm ($n_r = 30 - n_s = 21 \text{ t} = 18$). On obtient ainsi un élément tétraédrique dont les six côtés sont les quatre bords du losange, la diagonale principale et l'entretoise. D'autre part, les bords des losanges sont pliés afin d'obtenir une raideur supplémentaire et de permettre l'assemblage des panneaux entre eux. Six panneaux sont réunis en étoile, les entretoises correspondantes forment alors un hexagone fermé. Le centre de l'étoile reçoit un gousset en alliage léger assemblant les six pointes fixées par des rivets. Les trois entre-

toises sont réunies par un moyeu à trois branches assemblé sur une demi-rotule.

Le dôme n'étant qu'approximativement sphérique, les décalages dus à l'épaisseur de 30 cm, l'adoption de segments de droites au lieu d'arcs pour les bords des losanges, ont conduit après de nombreux essais sur maquettes, à quatorze dimensions de losanges, dont les longueurs varient de 2,62 à 3,55 et les largeurs de 1,72 à 2,18.

Caractéristiques.

Le dôme est supporté par trente-cinq points d'appui répartis sur la bordure inférieure et constitués par des colonnes tubulaires. Les colonnes sont attachées à chaque extrémité par des boulons d'acier et permettent au dôme de se dilater ou de se contracter sous les variations de température sans qu'il se produise de moments dans la bordure du dôme.

Nous avons donc une série de trente-cinq colonnes A attachées tangentielle-ment au dôme dans le plan radial de la grande diagonale du losange adjacent, elles peuvent être inclinées dans deux directions (radiale et circonférentielle) par rapport au sol; une deuxième série de soixante-dix tubes B placée dans le même plan que les bords du panneau inférieur forment un V qui transmet le cisaillement et la poussée aux appuis.

La traînée du vent est prise principalement par les paires de tirants, fixées au massif et aux entretoises du dôme.

Au sommet du dôme, un lanterneau persienné présentant une surface de 16 m² constitue une cheminée d'aération.

Pour les services de la piste, l'éclairage, les attaches des agrès etc... une plate-forme a été suspendue à la coupole, deux escaliers y donnent accès. Les tensions des câbles sont contrôlées par des dynamomètres permanents.

Dimensions générales du dôme :

- Par rapport aux appuis :
 - Diamètre moyen : 61 m
 - flèche : 19,64 m
 - Surface de la coupole : 3 960 m²
 - Surface projetée : 2 780 m²
- Poids du dôme : alliages légers : 45 t,
1 130 losanges (y compris lanterneau)
1 110 entretoises
380 goussets étoiles
765 moyeux
52 000 rivetons.

Isolation acoustique et thermique par revêtement projeté de laine minérale, épaisseur 15 mm — coefficient de conductibilité thermique K = 1.

L'étanchéité est obtenue par joints plastiques au thiocol, composé à base de soufre très adhérent et élastique.

Principes de calculs.

Le dôme Kaiser s'inspire des dômes étudiés par l'ingénieur américain Fuller qui réalisa de nombreuses couvertures polyédriques à barres géodésiques (arcs de grands cercles sur la sphère); pour des raisons pratiques les barres courbes furent remplacées par des barres droites par suite non géodésiques, mais le nom

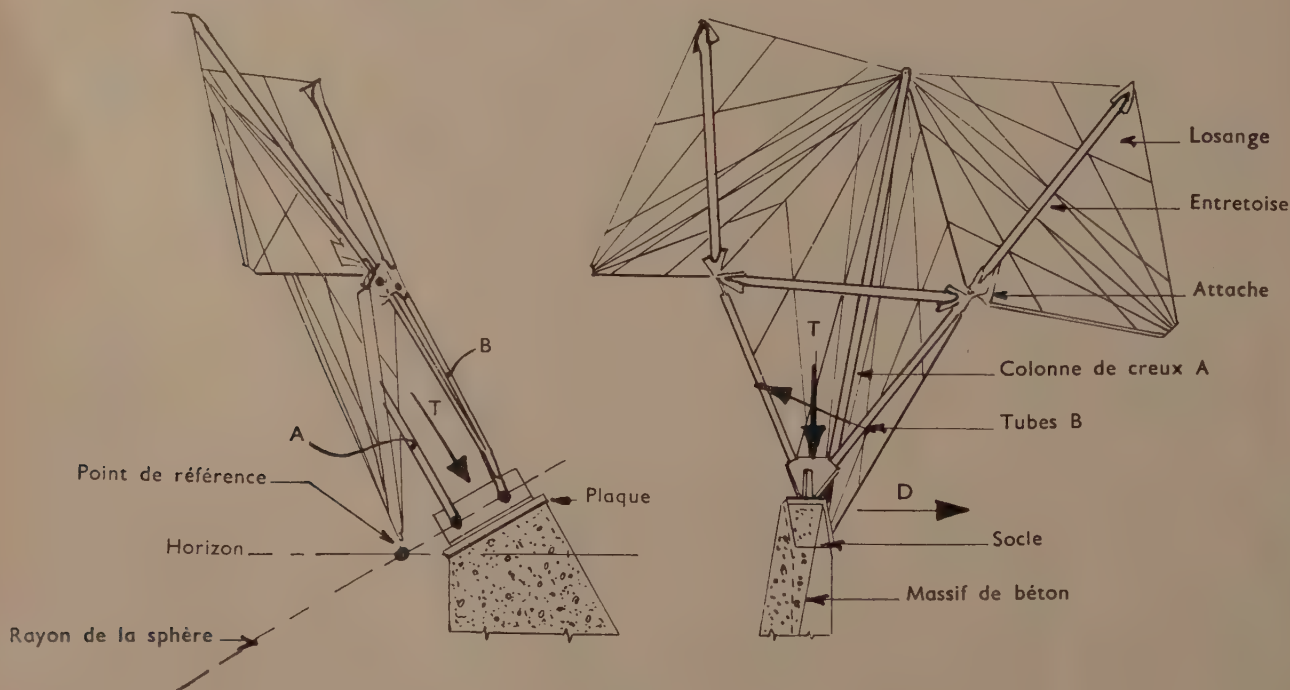


FIG. 7.

est resté. Le département aluminium de la Kaiser reprit ces études et, sous la direction de Don La Rue, ingénieur de l'aéronautique spécialiste des revêtements travaillants, fit étudier un dôme de $\varnothing = 44,20$ m, hauteur 15 m qui fut monté à Honolulu. Les dômes actuels dérivent de cette construction après des modifications de détails facilitant le montage.

Le dôme étant très rigide et reposant sur des appuis isolés tangentiels à la surface sphérique dans des plans méridiens, il n'est soumis à aucune flexion sous les charges uniformes, les réactions étant dirigées suivant leurs axes, de ce fait les calculs sont très simples et n'utilisent pas de formules de déformations.

Efforts sollicitant le dôme pris en compte dans les calculs :

Poids propre	12 kg/m ²
Revêtement éventuel	13 »
Supplément pour éclairage	10 »
	35 kg/m ²

Neige (200 kg/m²) distribution symétrique, l'épaisseur de la couche étant maximale au sommet et nulle à la latitude 25°.

Vent (200 km/h soit 250 kg/m²). — Les réactions sur la tôle furent déterminées par essais en tunnel — coefficient de majoration pour rafales 1,35.

Répartition des effets : 75 % dans les tôles, 25 % dans les tubes.

Charpente en acier.

La coupole repose sur une ossature métallique qui prend appui elle-même sur une infrastructure en béton armé.

Cette ossature métallique est composée par trente-cinq portiques rayonnants autour de la coupole, ils servent de fermes au comble annulaire qui prolonge la couverture au delà de la coupole de 61 m de façon à couvrir un cercle de 74 m de diamètre. Le comble a une pente constante de 0,30 m/m mais dans l'autre sens, son niveau est variable car il épouse les cinq ondulations du bord de la coupole.

La traverse inclinée de chaque portique est portée à l'extérieur par un poteau vertical situé dans la paroi en parpaings de béton, et à l'intérieur par un poteau incliné dont la tête dépasse la traverse et forme, au-dessus de la couverture en aciéroïd, le support du pied de coupole. Ce poteau incliné présente une console qui prolonge vers l'intérieur la traverse du portique et sert de support à la sablière en tôle de 0,85 m de hauteur qui borde la couverture à son point bas et sur laquelle l'étanchéité de l'aciéroïd est relevée pour former le chéneau. Ce chéneau recueille aussi bien les eaux pluviales du comble annulaire que celles de la coupole.

Les poteaux extérieurs des portiques sont reliés deux à deux :

1° par la sablière haute du comble ;

2° par un contreventement vertical en X qui va de la sablière haute au pied des poteaux.

Les traverses des portiques sont reliées également deux à deux par une entretoise au droit du poteau intérieur et par un contreventement en X qui va de cette entretoise à la sablière haute.

La ceinture continue, que forme la sablière haute, équilibre toutes les poussées horizontales rayonnantes de la coupole sous les charges verticales.

Les deux contreventements transmettent à l'infrastructure en béton armé les poussées tangentes qu'apporte la coupole sous l'action du vent.

Les portiques sont en acier soudé, assemblage par boulons.

Fabrication.

La *Kaiser Aluminium* livre aux entrepreneurs et sur chantier tous éléments du dôme. Les entretoises et les accessoires sont prêts à l'emploi. Les losanges sont fournis non pliés mais percés et repérés.

Le pliage se fait sur place dans un atelier équipé d'une plieuse, d'une cisaille légère et d'un petit matériel annexe. Il en fut ainsi pour le dôme de Moscou.

Pour le Palais des Sports, les *Établissements Eiffel* assurèrent la fabrication complète dans leur usine du Blanc-Mesnil.

Panneaux.

Les panneaux furent commandés directement coupés aux cotes des panneaux développés avec une tolérance de coupe de 2 à 3 mm, ce qui est suffisant, car si les panneaux pliés terminés doivent être fournis avec des tolérances de quelques dixièmes de millimètres tant pour les pliages que pour les perçages, la tolérance de coupe n'a pas d'importance car elle se retrouve sur le petit bord retombé de raidissage du bord de raccordement des panneaux et ne joue en rien sur la dimension du panneau terminé.

Pour chaque série de panneaux, un calibre en vraie grandeur a été exécuté dans le même métal que celui des panneaux afin d'éliminer les erreurs pouvant provenir de coefficients de dilatation différents.

Sur ces calibres furent repérés avec le plus grand soin quatre trous de référence situés à chaque sommet du losange. Ces quatre trous reproduits dans les panneaux servirent de base à toute la fabrication. C'est en se référant à ces quatre trous qu'on définit le perçage des trous d'assemblage des goussets, le perçage des trous d'assemblage des moyeux et platines d'entretoises, le perçage des trous oblongs d'assemblage des panneaux entre eux, et les diverses lignes de pliage.

Les calibres étant tracés et usinés, les tôles de panneaux sont mises en paquets sur ces calibres et les trous d'assemblage des goussets et des platines sont percés par une batterie de deux perceuses radiales.

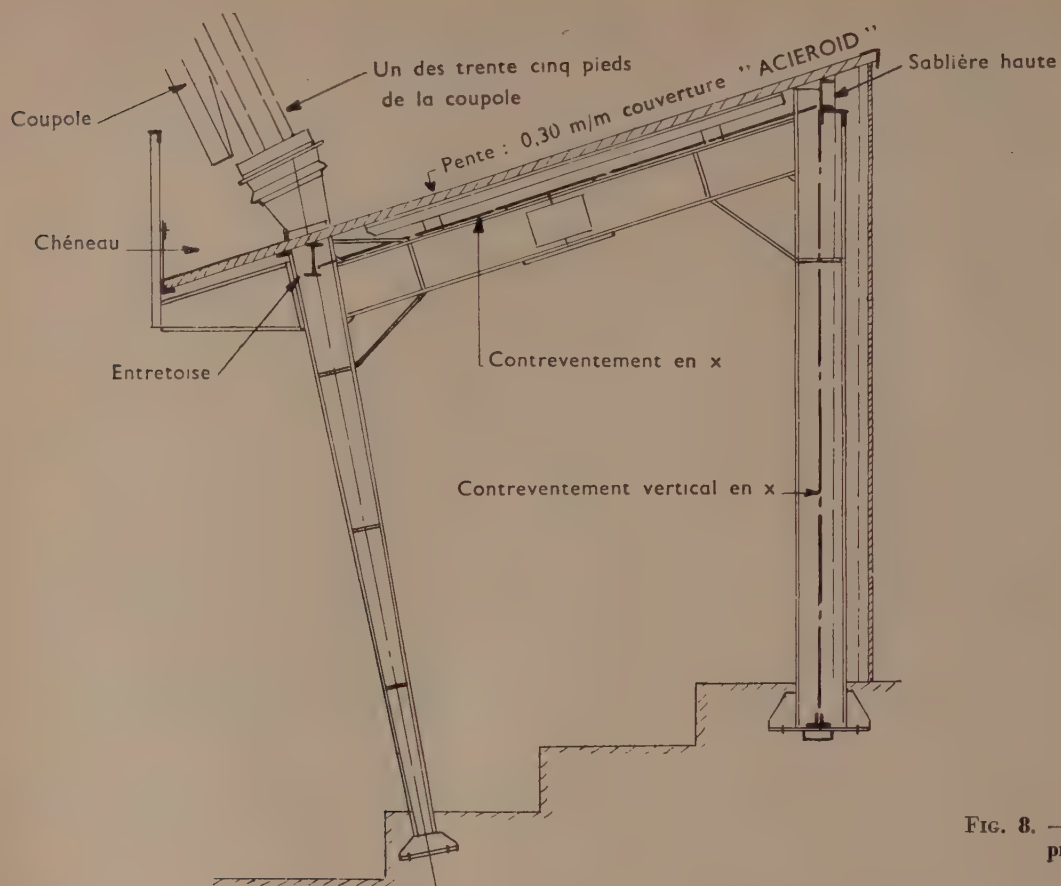


FIG. 8. — Coupe du comble annulaire prolongeant la coupole.



FIG. 9. — Montage de l'ossature métallique.

(Photo H. Baranger, Paris.)



(Photo H. Baranger, Paris.)

FIG. 10. — Portique d'appui.

Ensuite les quatre lignes de trous oblongs servant à l'assemblage des panneaux entre eux sont poinçonnées, soit trou par trou sur une poinçonneuse ordinaire, soit mieux encore, poinçonnage d'une ligne entière de trous par outils multiples disposés sur une presse plieuse. Poinçonnage effectué toujours en partant du trou de référence.

Les opérations de perçage et poinçonnage étant terminées, le panneau passe en pliage, toujours en prenant le trou de référence comme base.

a) Exécution des quatre plis en pointe de diamant à 10° .

b) Exécution des quatre plis en pointe de diamant à 25° .

c) Coupe des coins obtus du losange à la cisaille.

d) Coupe des coins aigus du losange, soit à la grignoteuse, soit à la scie portative.

e) Pliage du petit retombé de raidissage des flancs en se butant sur la coupe (pas de grande précision indispensable).

f) Pliage du grand retombé ou flanc d'assemblage en se brochant sur les trous oblongs déjà poinçonnés.

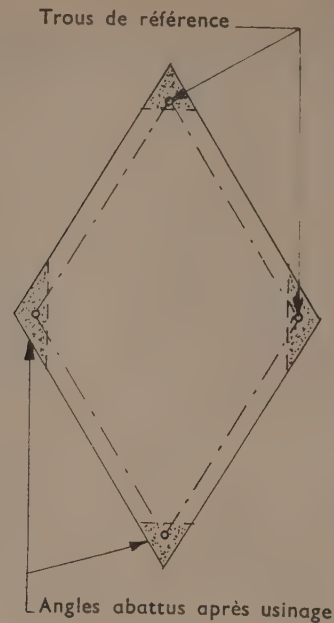


FIG. 11.

Entretoises.

a) Découpage des platines à la scie à ruban.

b) Perçage suivant gabarit ayant servi au perçage des tôles.

c) Coupe des tubes d'équerre à longueur.

d) Sciage en biais des tubes à chaque extrémité.

e) Aplatissement des extrémités des tubes.

f) Pointage des platines sur tubes sur gabarit après décapage à la brosse des platines et des extrémités de tubes.

g) Soudure des platines sous argon.

Temps de fabrication.

L'usinage des tôles et des entretoises du dôme représente 9 500 h de travail.

Montage.

Montage à l'aide d'un mât central pourvu d'un chariot de levage.

Caractéristiques.

Hauteur du mât : 48 m.

Poids y compris anneau : 10 000 kg.

Au pied, rotule et plaque d'appui reposant sur un massif béton calculé pour une charge de 100 t.

Quatre autres points d'appui chaînés au point d'appui central, pour recevoir quatre treuils de levage de 5 t mouflés à quatre brins.



(Photos H. Baranger, Paris.)

FIG. 12.
Commencement du montage de la coupole.



FIG. 13.
Coupole terminée et reposant sur ses appuis.
Les panneaux « fillers »
ne sont pas encore en place.

Amarrage en tête du mât (sur araignée) par quatre haubans.

Manœuvre des haubans par treuils de 2 t ou tireforts.

Mât section carrée 1,00 m de côté.

Éléments de 6,00 m.

Montage du mât : 500 h

Mise en place des treuils : 300 h

{ y compris déchargement et bardage.

Au-dessus de 28,00 m, le mât est constitué d'éléments courts démontables qui sont boulonnés pour pouvoir être démontés aisément et passer par l'ouverture du lanterneau de coupole pour enlèvement.

Les photos ci-dessus illustrent les dispositions utilisées pour le montage.

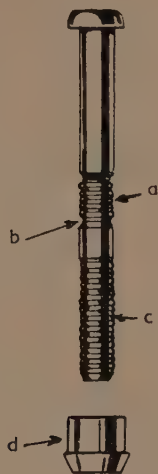


FIG. 14.



(Photo H. Baranger, Paris.)

FIG. 15. — Pose des rivetons au pistolet.

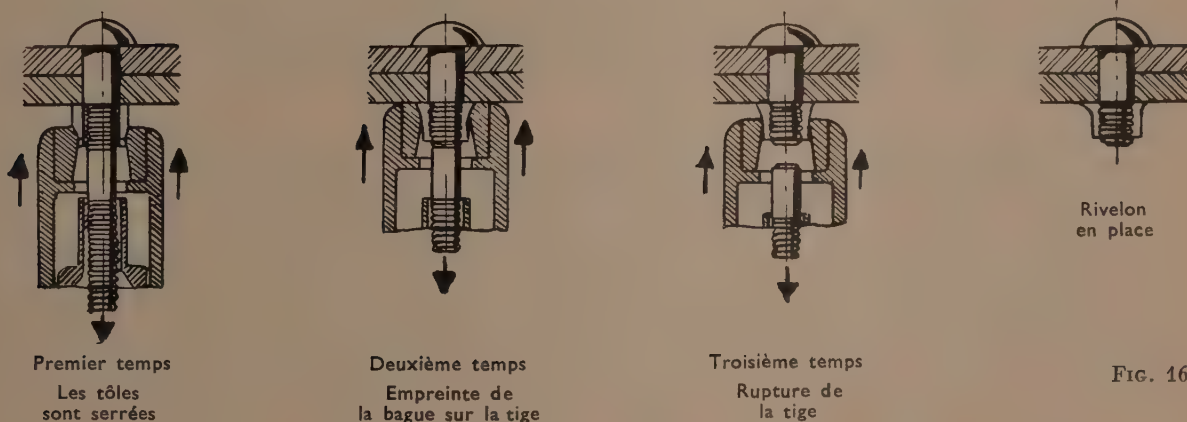


FIG. 16.

Assemblage.

Les tôles sont assemblées entre elles et sur les pièces moulées ou forgées, par des rivets spéciaux, dits « rivetons » fabriqués par *Saint Chamond Granat* sous licence Huck (U.S.A.).

Description.

Il a été utilisé des rivetons de 10 mm de diamètre en alliage léger à haute résistance.

Le « riveton » se compose de deux pièces (fig. 14) :

1° Une tige comprenant :

- une série de gorges circulaires sur lesquelles vient se serrer la bague au moment de la pose (a);
- une amorce de rupture (b);
- une longueur de tige avec gorges servant à la pose (c);

2° Une bague spéciale sertie à la pose par déformation plastique (d).

Pose.

Elle se fait au moyen du pistolet hydraulique (poids 2,5 kg) effectuant automatiquement le serrage des pièces à assembler, le sertissage de la bague et l'éjection de la partie (c) de la tige ayant servi d'appui.

La figure 16 explicite le mode d'action du pistolet.

Avantages.

L'installation est simple et rapide, elle crée une précontrainte importante dans le rivet après pose assurant une excellente tenue de l'assemblage et une indésérabilité complète, enfin, l'opération de pose étant automatique et en dehors du contrôle de l'ouvrier les malfaçons éventuelles sont éliminées.

CONCLUSION DU PRÉSIDENT

Je remercie M. Mongin de son exposé. Avant de demander si vous voulez poser des questions, je crois qu'on peut retirer de l'idée de « Kaiser » quelque chose d'assez remarquable : avoir réalisé une surface sphérique, par conséquent non développable, mais rigide, avoir encore amélioré la rigidité en bosselant cette surface et avoir réalisé le tout avec des éléments parfaitement développables, des tôles pliées qui s'assemblent par des bords rectilignes avec des boulons.

Il n'y a qu'une chose qui m'a paru surprenante dans tout cet ensemble, c'est qu'on ne soit pas arrivé à faire des losanges qui soient tous identiques.

J'avais trouvé tout à fait remarquable l'idée d'avoir découpé cette sphère en considérant tous les points de la sphère comme des pôles identiques entre eux et non pas de la découper comme on a tendance généralement à le faire, en grands cercles et en parallèles, ce qui fait qu'il y a différentes tranches entraînant nécessairement une différenciation des éléments.

Pourquoi y a-t-il quatorze éléments différents? Ne serait-il pas possible de réduire ce nombre et peut-être de rendre tous les éléments identiques? Je ne connais pas assez la géométrie sphérique pour en juger. De toutes façons il est remarquable d'avoir décomposé cette sphère en éléments façonnés par pliage et qui s'assemblent par des rives rectilignes.

Ce qui est un petit peu plus original comme montage, c'est d'avoir une charpente qui est suspendue sans avoir aucun repos. Le constructeur métallique a l'habitude de se hâter de faire des levages et de partir le soir quand tout repose sur des points d'appui, de ne jamais laisser une charpente en charge sur les mâts. Là, la méthode veut que l'on reste des semaines avec la charpente en charge sur le mât; ce n'est pas très grave parce qu'elle ne pèse pas très lourd; mais elle ne demande qu'à s'envoler.

Maintenant, M. Mongin pourra peut-être répondre aux questions que vous pourriez lui poser.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

DISCUSSION

M. VALLETTE. — Les efforts du vent se sont-ils traduits par des efforts de soulèvement sur les appuis ?

M. MONGIN. — Il y a au total un effort de soulèvement, un effort horizontal et un moment. Les Américains ont étudié les effets du vent par des essais aérodynamiques et la note de calculs qu'ils ont établie se réfère aux abaques réalisés expérimentalement.

M. VALLETTE. — Les efforts de soulèvement sont de quel ordre ?

M. MONGIN. — Ils sont de l'ordre de 8 à 10 t par appui suivant les points, sous des vents de 200 km/h. Les conditions imposées sont très dures.

M. COURBON. — Je demande si les faces que l'on voit sur les plans de montage sont les faces d'un dodécagone régulier inscrit sans la sphère de manière à retrouver les éléments par un certain nombre de rotations.

M. MONGIN. — On les retrouve par rotation.

M. COURBON. — Un dodécaèdre est composé de douze faces qui sont des pentagones réguliers. Si on voulait résoudre le problème avec un icosaèdre (polyèdre régulier ayant vingt faces qui sont des triangles équilatéraux) on arriverait au même nombre d'éléments parce que ces deux polyèdres sont réciproques l'un de l'autre, et admettent donc les mêmes axes de rotation.

M. LE PRÉSIDENT. — Je crois que la voûte n'est pas tout à fait une sphère dans la réalisation.

M. PETIT. — Elle en est extrêmement proche.

M. COURBON. — On a cherché à remplir la face d'un dodéca-gone; comme on a fait cela par rotation on pouvait avoir l'ensemble de la sphère. Il n'est pas possible de le faire avec un seul type d'élément. Il aurait fallu prendre un pentagone complet parce qu'il n'y a que cinq espèces de polyèdres sur une sphère.

M. MONGIN. — C'est ce qui a été réalisé à Baton-Rouge avec des pentagones.

M. COURBON. — On ne peut pas bâtir une sphère autrement que de cinq façons différentes et avec de grands éléments.

M. LE PRÉSIDENT. — Le nombre des éléments est très limité et c'est remarquable. Il faut évidemment faire attention aux montages et ne pas se tromper parce qu'ils se ressemblent trop. C'est un inconvénient.

M. COURBON. — Chaque élément décrit un petit pentagone à l'intérieur du grand pentagone, ce sont des éléments tous pareils qui ont la même couleur.

M. MONGIN. — Oui, c'est cela.

M. LE PRÉSIDENT. — Je pense qu'on aurait peut-être pu réaliser chacun des losanges élémentaires plus facilement avec une surface gauche en employant un paraboloïde hyperbolique plutôt que les plis adoptés, en exécutant les plis suivant les systèmes de génératrices rectilignes.

Mais ce sont des petits points de détail. On peut toujours chercher à améliorer une technique qui est déjà fort remarquable.

UN AUDITEUR. — Pourquoi les Américains adoptent-ils le pentagone au lieu de l'hexagone ?

M. COURBON. — Quand on met trois hexagones côte à côte avec un sommet commun ils restent toujours dans un plan parce que la somme des trois angles de 120° est 360° ; les trois arêtes qui aboutissent au sommet commun sont donc dans un plan.

UN AUDITEUR. — De combien la surface gauche réalisée s'inscrit-elle en plus et en moins de la sphère inscrite de même cercle de base et de même sommet ? Est-ce que les Américains l'ont étudié ?

M. MONGIN. — Le rayon extérieur a 30,90 m et le rayon intérieur 30,521 m.

UN AUDITEUR. — Ce n'est pas la question que je pose. Je veux dire que si l'on compare la sphère circonscrite réalisée à la sphère idéale, de combien varient les écarts lorsqu'on suit un méridien ?

M. PIGET. — Le renseignement n'a pas été donné. Je suppose que les écarts sont extrêmement faibles.

UN AUDITEUR. — Vous avez quatorze éléments et vous pensez en réduire le nombre. Je crois que cela va être difficile. Je me suis exercé sur une coupole hexagonale, l'étude a été laborieuse et il n'y avait pas de solution idéale. Si cet élément vous parvenait, il serait intéressant de le signaler parce que nous avons intérêt à mieux connaître cette technique qui est très développée aux États-Unis.

M. CAQUOT. — Je voudrais signaler simplement l'intérêt des deux matériaux employés, l'acier et l'aluminium. A l'heure actuelle ce sont les deux métaux qui nous permettent d'avoir de la résistance sans fragilité, et leur emploi dépend seulement des prix. Il est certain que les prix sont très différents, mais celui de l'aluminium ira en s'amenuisant étant donné que l'aluminium coûte surtout en raison de l'énergie nécessaire à sa fabrication et que le prix de l'énergie va baissant, tandis qu'au contraire l'acier arrive à un prix à peu près constant à l'heure actuelle étant donné le degré de perfectionnement de toutes les installations.

Dans la courbe de descente des prix, l'aluminium se rapproche de plus en plus de l'acier tout en étant encore à l'heure actuelle fort éloigné, mais il permet de résoudre de très nombreux problèmes comme ceux des flèches de grues très légères qui ont été réalisées à un certain nombre d'exemplaires.

Ces deux métaux sont aujourd'hui à la disposition des ingénieurs avec la même sécurité.

M. LE PRÉSIDENT. — Je remercie M. CAQUOT de son intervention. Je signale, pour illustrer cette combinaison d'acier et de métal léger, que le paquebot le « France », récemment construit, comporte une infrastructure en acier et une superstructure en métal léger.

M. CAQUOT. — La superstructure en métal léger ayant un coefficient d'élasticité beaucoup plus faible a l'avantage de travailler à un taux normal quoique étant à des distances beaucoup plus grandes de la fibre neutre.

M. LE PRÉSIDENT. — Pour le constructeur habitué à l'acier, il n'y a pas de difficultés pour l'emploi de l'aluminium. Les monteurs sont surpris par la légèreté des pièces à manipuler.

M. CAQUOT. — La soudure à l'argon a permis de résoudre le problème, qui n'était pas résolu jusqu'à présent, de la réunion des différents éléments. Il a été mis au point pour la construction de carrosseries d'automobiles.

M. VALLETTE. — Est-ce que la dilatation vous a posé un problème ?

M. MONGIN. — La dilatation ne pose pas de problème, la coupole étant libre dans le sens radial et l'inertie des appuis étant très faible. La coupole est flexible, elle gonfle, mais la déformation maximale ne dépasse pas 10,5 cm sur le diamètre.

M. LE PRÉSIDENT. — Je vous remercie de votre attention et je félicite le conférencier.

(Reproduction interdite.)

ÉDITÉ PAR LA DOCUMENTATION TECHNIQUE
DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS,
9, RUE LA PÉROUSE, PARIS-XVI^e.

(Ann. I. T. B. T. P.)

7652-9-60. Typ. FIRMIN-DIDOT et C^{ie}, Mesnil (Eure)
Dépôt légal : 3^e trim. 1960.

Le Directeur-Gérant : P. Guérin

SUPPLÉMENT AUX

ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

SEPTEMBRE 1960

Treizième Année, N° 153

Série : QUESTIONS GÉNÉRALES (47)

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 8 MARS 1960

sous la présidence de **M. A. BALENCY-BÉARN**,
Président de l'APROBA

QUELQUES ÉLÉMENTS DU TABLEAU DE BORD DU CHEF D'ENTREPRISE : LES RATIOS

par **M. V. LOUIS**,
Ingénieur A. et M. et E. C. P.,
Ingénieur-Conseil.

ASSOCIATION PROFESSIONNELLE POUR L'ACCROISSEMENT DE LA PRODUCTIVITÉ
DANS LE BATIMENT (APROBA)

INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

Nous allons nous occuper aujourd'hui des prévisions des entrepreneurs. Vous savez qu'il y a encore de très nombreux entrepreneurs qui évoluent à l'estime, en fonction de données très subjectives et de quelques chiffres d'une exactitude limitée, visant, en particulier, le niveau de leurs marchés, le niveau de leurs comptes en banque, et les rabais pratiqués par leurs confrères. Ils opèrent, en somme, comme les navigateurs d'autrefois qui montaient sur le pont, appréciaient l'état de la mer, la fraîcheur du vent, la figure de l'équipage, et prenaient une décision en fonction de ces observations assez sommaires ; ce qui ne les empêchait pas, d'ailleurs, d'arriver souvent à bon port.

Actuellement, les navigateurs ont à leur disposition un certain nombre d'instruments très perfectionnés : des compas, des radars, des appareils à ultra-sons, toute une série de cadrans qui leur permettent de relever avec exactitude non seulement la route qu'ils ont suivie, mais de tracer celle qu'ils doivent prendre en fonction d'un certain nombre de données.

Beaucoup d'entreprises industrielles se sont engagées dans cette voie, et se sont fabriquées des instruments de bord pour guider leur marche.

Déjà, en 1954, la Fédération Parisienne du Bâtiment avait fait établir par un groupe de conseils une enquête sur les ratios qu'il était possible de déterminer dans l'entreprise du bâtiment ; cette enquête avait d'abord l'intérêt de déterminer quels étaient les ratios valables à la fois sur les plans financier, commercial et technique, mais aussi de déterminer les points moyens sur le plan professionnel ; ce qui permettait à chaque entrepreneur qui s'était fait ausculter de se situer par rapport à ses confrères.

Nous entendons parler tous les jours de procédés de plus en plus savants, de certaines recherches opérationnelles usant de machines électroniques auxquelles on fournit un certain nombre de données et qui répondent et donnent les directions à prendre : c'est extrêmement commode.

J'avoue me demander si la machine ne rend pas ce qu'on lui a donné mais sous une autre forme ; et s'il ne faut pas, tout de même, que le patron conserve un certain nombre d'éléments d'appréciation personnelle.

Aussi bien, aujourd'hui, nous nous sommes tenus dans des limites beaucoup plus modestes, et à l'Association Professionnelle pour l'Accroissement de la Productivité dans l'Industrie du Bâtiment (APROBA) nous avons demandé à M. Victor Louis de faire un petit peu le point de ce qui existe, de ce qui s'est fait, de ce qui est raisonnable ou apparemment moins raisonnable, et de nous proposer un certain nombre de ratios réfléchis qu'il paraît possible et logique de déterminer et d'exploiter dans l'entreprise.

Je crois que si nous arrivons à normaliser un certain nombre de ratios, nous aurons amorcé un progrès parce que nous permettrons à chaque entrepreneur d'opérer quelques prévisions et surtout de se situer par rapport aux points moyens de la Profession.

M. Victor Louis, qui est Ingénieur des Arts et Manufactures et des Arts et Métiers, a créé et dirigé une Division de génie civil et de béton armé dans une importante entreprise de charpente métallique ; il connaît très bien les problèmes de l'entreprise. Par ailleurs, il est, depuis un certain temps, au sein de l'APROBA et, à ce titre, il est mêlé à nos préoccupations et à nos problèmes ; j'ai pensé qu'il était bien placé pour faire l'analyse que nous souhaitons.

On dit beaucoup de choses sur les « ratios ». On vient nous trouver d'un peu partout ; des gens très distingués vous disent que si vous vous prêtiez à leurs investigations, vous trouveriez chaque matin sur votre bureau un petit papier vous donnant la marche à suivre de votre entreprise.

Nous sommes un peu sceptiques et, en première démarche, nous allons demander à M. Victor Louis de débroussailler ce problème et de vous en exposer les données essentielles.

RÉSUMÉ

La présente étude comporte deux parties :

1) Le tableau de bord, vu dans ses grandes lignes.

Son but, son élaboration pratique qui comprend les trois volets : technique, commercial, financier.

2) Les ratios :

— leur signification quant à l'activité de l'Entreprise ;

— leur établissement ; nécessité de l'existence : à l'intérieur de l'entreprise de ratios « standards » et de ratios « réels » ; sur le plan de la profession, de ratios « moyens » et de ratios « pilotes ».

Ce, dans les trois domaines : technique, commercial, financier :

— leur emploi.

Dans le domaine technique, les ratios « réels » seront ceux de l'exécution et les ratios « standards » ceux du devis. Les uns et les autres analyseront les facteurs de productivité suivants : la main-d'œuvre, les matériaux, les frais de chantier, le matériel, les frais généraux, etc...

Sur le plan commercial, les ratios concerneront le carnet de commandes, la réussite des affaires étudiées, les découverts-clients.

Dans le domaine financier, les ratios essentiels toucheront les masses principales du bilan.

EXPOSÉ DE M. LOUIS

La brillante introduction du Président BALENCY-BÉARN a comblé votre attente. Elle a dit tout ce qu'il fallait dire de l'objet de cet exposé, de son contenu, de ses limites, de ses prolongements éventuels.

Et elle me permet d'aborder de plain-pied la tâche que le Président de l'APROBA m'a fait l'honneur de me confier, à savoir : vous parler, ce soir, des *ratios*, éléments du *tableau de bord* du chef d'entreprise.

Mon exposé comprendra, en gros, deux parties :

1° quelques vues d'ensemble sur le tableau de bord;

2° les *ratios* : ce qu'ils sont, leur signification; comment ils sont élaborés; quels soins lucides requiert leur établissement; comment ils peuvent être utilisés dans la direction d'une entreprise en tant qu'instruments de mesure. Comment ils sont des facteurs de liaison et de coopération entre les entreprises d'une même spécialité, de volumes comparables et d'une même région.

Pour terminer, nous émettrons l'espoir que leur usage se répande; mais, dans l'ordre, l'exactitude, sans hâte, conditions sans lesquelles cette diffusion irait à l'échec.

LE TABLEAU DE BORD

APERÇU RAPIDE SUR LE TABLEAU DE BORD

Je dis rapide, car une étude non pas exhaustive, mais complète de la question, exigerait, à elle seule, un exposé assez long.

Qu'est-ce que le *tableau de bord*?

Idéalement, il devrait être pour le *chef d'entreprise* par référence à ce qu'il est pour le pilote d'avion, un tableau synoptique comportant, non pas des cadrans, mais des éléments d'information — nombres, tableaux graphiques — choisis par le chef d'entreprise pour leur valeur d'efficacité et qu'il désire connaître, périodiquement, aux jours fixés par lui.

Pratiquement, les fins visées par le chef d'entreprise sont trop nombreuses et trop complexes pour qu'un seul tableau suffise.

Pour qu'il soit informé, en temps voulu, des résultats de sa gestion cyclique, pour qu'il puisse apporter les correctifs nécessaires aux vecteurs de cette gestion,

pour que son action prévisionnelle, voire prospective soit alimentée, on dressera plus d'un tableau et on sacrifiera, pour une part, la condensation des documents à leur clarté, à la facilité de leur saisie visuelle.

Le chef d'entreprise doit avoir, en quelques instants, une vue globale de la valeur de sa gestion, du sens évolutif de celle-ci, sans autre effort que purement critique, au sens cartésien de ce mot.

Il apparaît ainsi que, dans sa composition, le *tableau de bord* sera une manière de substratum des volontés lucides du patron.

Nous venons de parler du *tableau de bord* du *chef d'entreprise*; en fait, on peut prévoir qu'il faudrait un tableau de bord à chaque étage de responsabilité, ces tableaux s'articulant pour aboutir, au sommet de la pyramide, au tableau de bord du chef de maison. Mais, cette structure pyramidale ne peut se concevoir que pour les entreprises assez importantes et dans lesquelles chaque fonction est personnalisée.

SUMMARY

The present study comprises two parts :

1) the management board, in its broad outlines.

Its object, its practical lay-out, which includes the three panels : technical, commercial, financial.

2) The ratios :

— their meaning in relation to the activity of the Firm;

— their establishment; the necessity for the existence, within the firm, of « standard » ratios and of « real » ratios; on the level of the profession, of « average » ratios and of « pilot » ratios.

This in the three fields, the technical, commercial and financial.

— their use.

In the technical field, the « real » ratios will be those of the execution, and the « standard » ratios those of the estimate. Both analyze the following productivity factors : labor, materials, site costs, equipment, general expenses, etc...

On the commercial level, the ratios will concern the order book, the success of the business studied, the sums remaining due by customers.

In the financial field, the essential ratios will relate to the main items of the balance-sheet.

Dans ce *tableau de bord*, que va-t-on trouver? Non pas tout, mais l'essentiel et dans les trois domaines suivants :

- a) FINANCIER.
- b) COMMERCIAL.
- c) TECHNIQUE OU D'EXPLOITATION

A. — Domaine financier.

Le chef d'entreprise connaît le souci permanent de la *trésorerie*. Il s'assurera du niveau de celle-ci, du jeu normal des échéances immédiates; mais son besoin de prévision ira plus loin et s'étendra à l'année ou au semestre à venir et, pour les moyennes et courtes échéances, au mois et à la quinzaine. (Nous ne parlons pas des prévisions journalières touchant les comptes de banques.)

Quelques *nombres-clés* ne suffiront pas, ici, à l'éclairage de la situation. Il faudra des tableaux, à colonnes mensuelles, ventilant les prévisions de dépenses et de recettes pour les chantiers en activité et pour les chantiers à ouvrir, pour les opérations d'équipement, pour la constitution des stocks. Les variations du niveau de la trésorerie en ressortiront immédiatement. Des courbes « visualiseront » ces résultats.

Voilà pour la trésorerie.

Puis, pensant à son *fonds de roulement*, à la structure financière et au degré d'autonomie financière de sa maison, le patron ne manquera pas de veiller, aux dates de production des bilans, à l'équilibre optimal des grandes masses de ces bilans et ce, au moyen de quelques nombres, de quelques *ratios* (le mot est dit, et je m'en excuse, puisqu'il n'a pas encore été défini) et dont les principaux concerneront les IMMOBILISATIONS, le FONDS DE ROULEMENT, la TRÉSORERIE, la LIQUIDITÉ, le RENDEMENT. J'y reviendrai tout à l'heure.

B. — Domaine commercial.

B1. Tout d'abord, le *carnet de commandes* qui exprime le montant des travaux restant à exécuter sur les commandes en cours et le montant des marchés signés dont les chantiers ne sont pas encore ouverts. On en connaît le caractère obsessionnel et quelle vigilance il requiert de la part du chef d'entreprise. Ici, un seul *nombre-mesure*, exprimé en chiffre d'affaires annuel, ne suffira pas, en général, surtout pour les maisons importantes.

On peut enregistrer, en effet, « in globo », un volume de commandes correspondant à une année de chiffre d'affaires (ce qui est fort beau par les jours que nous vivons). Mais comment, chronologiquement, vont s'étaler ces commandes? On aura, par exemple, en mains, un marché signé de 7 à 800 millions d'anciens francs; et on pourra se trouver dans l'indéterminé quant à la date d'ouverture des travaux correspondants. Sera-ce dans deux, quatre ou six mois?

Le maître d'ouvrage l'ignore, parfois, lui-même et pour de multiples raisons (par exemple, certaines parcelles du terrain de lotissement ne sont libérées qu'avec une lenteur qui passe toutes ses prévisions). Certes, l'ordre de service d'ouverture des travaux viendra bien un jour! Mais les mois passeront et certaines colonnes mensuelles du carnet de commandes souffriront de creux nombreux. Ainsi, tout en ayant devant soi un chiffre total de commandes apparemment apaisant, on courra le risque de connaître un passage à vide de plusieurs mois, pendant

lequel les frais généraux viendront alléger l'actif de notre compte d'exploitation.

Il faut donc faire dresser un TABLEAU PRÉVISIONNEL CHRONOLOGIQUE des travaux correspondant au carnet de commandes, tableau d'ailleurs indispensable à l'étude de trésorerie dont nous venons de parler.

Ainsi, au tableau de bord, le carnet de commandes toujours représenté par un % (renseignement suffisant pour les entreprises dont les commandes de clients sont nombreuses et de faible volume) donnera lieu, en sus, pour les entreprises traitant des marchés de longue durée, au tableau ventilé qui vient d'être dit.

B2. Deuxième souci d'ordre commercial : les *découverts clients*.

Les clients nous paient-ils avec ponctualité, c'est-à-dire en conformité des clauses de paiements des marchés qu'ils nous ont passés? Là, encore, il faut plus qu'un éclaircissement global. C'est un examen PAR CHANTIER qui est nécessaire. D'où l'établissement d'un tableau ad hoc ventilant, par chantier, le découvert client dont il importe d'obtenir, par une action vigoureuse et immédiate, le recouvrement dans les délais les plus courts.

Que l'on bloque ensuite ces découverts pour les rapporter, pour comparaison, au chiffre d'affaires moyen des trois ou des six derniers mois, il n'y a rien à dire là contre. On mesurera ainsi, globalement, le niveau moyen des découverts, pour le comparer aux niveaux antérieurs. Mais c'est de la statistique et non un acte de gestion dynamique.

B3. Enfin, troisième souci d'ordre commercial : la *proportion des affaires réussies par rapport aux affaires étudiées*.

Dans quelle mesure les études faites aboutissent-elles à des affaires traitées? Nous avons, par exemple, remis au cours du dernier semestre des propositions dont le montant total est de 3 milliards d'anciens francs. Quelles réussites en face de ce chiffre? Trois affaires dont le total représente 600 millions.

Notre ratio de réussite est donc de $\frac{600}{3\,000} \times 100 = 20 \%$.

Ce ratio figurera au tableau de bord. Ses variations seront matière à analyse pour le chef d'entreprise, particulièrement quant au coût des études dont l'accroissement alourdira le quantum des frais généraux et affaiblira, par conséquent, nos chances commerciales.

Voilà pour la gestion commerciale.

C. — Domaine technique ou d'exploitation.

Celui-ci est le plus important. Il est l'expression du dynamisme de l'affaire.

La comptabilité générale, le compte d'exploitation, la comptabilité analytique, les devis en sont l'aliment essentiel et c'est en se reportant aux composantes du compte d'exploitation que le chef d'entreprise pourra faire élaborer, pour son tableau de bord, tels ratios de son choix qui intéresseront :

- la main-d'œuvre;
- les matériaux;
- le matériel;
- les frais de chantier;
- les frais généraux;
- le chiffre d'affaires, etc...

Mais, une fois encore, des ratios ne suffiront pas. Des tableaux, par chantier et pour l'ensemble de la maison, des graphiques, des plannings, seront indispensables à l'information de la Direction générale; et pourvu que ces documents soient clairs et exacts, que leur lecture soit aisée, mieux vaudra les recevoir plus nombreux si, à ce prix, ils sont plus éclairants.

On ne s'étonnera pas, dans cet auditoire d'entrepreneurs, qu'infidèle au principe sacro-saint de la hiérarchie des interventions en matière de gestion, nous admettions, ici, cette descente du contrôle personnel du chef d'entreprise en des domaines relevant, organiquement, de ses collaborateurs immédiats.

Les latins disaient : « De minimis non curat praetor » (le juge ne prend pas soin des choses minimes ou insignifiantes). Un entrepreneur n'est pas un juge et il est bon de se souvenir, avec le bonhomme LA FONTAINE que « L'ŒIL DU MAÎTRE » ne se remplace pas facilement. Une entreprise, c'est une équipe qui vaut par son animateur : le patron. Il faut donc qu'en regard de sa responsabilité qui est totale, l'information du patron soit totale.

Messieurs, j'ai terminé cet examen très succinct de ce que peut être le *tableau de bord du chef d'entreprise dans le bâtiment*.

Je vais passer, maintenant, plus spécialement, à la question des ratios.

LES RATIOS

Définir les ratios? CLAUDE BERNARD ne cache pas, dans l'une de ses œuvres, sa méfiance à l'égard des définitions touchant les choses naturelles. Et, à l'appui de son opinion, il cite cette boutade du grand mathématicien POINSOT : (1) « Si quelqu'un me demandait de définir le temps, je lui répondrais : « Savez-vous de quoi vous parlez? » S'il me disait : « Oui — Eh bien, parlons-en ». S'il me disait : « Non — Eh bien, parlons d'autre chose ».

Il est, Dieu merci, plus facile de tenter de définir les ratios que de définir le temps, et les ratios étant une création de l'esprit, nous allons essayer d'y parvenir. Nous verrons tout l'intérêt qui s'attache à cette opération sémantique.

Etymologiquement, un grand nombre de sens s'attachent au radical latin « ratio » : Ordre, raison, système, doctrine, calcul, compte, mesure, rapport, etc...

Le sens retenu par les Anglo-saxons est celui de MESURE, de RAPPORT, de PROPORTION.

Le ratio est un nombre qui va permettre de mesurer. Quoi? Sur le plan de l'entreprise, ce que le chef de maison a décidé, personnellement, de mesurer.

Le ratio exprimera, dans un domaine déterminé de l'activité de l'entreprise, la valeur d'un rapport de deux termes choisis à raison de la signification que postule leur rapprochement et pour que cette signification ne soit pas seulement qualitative, mais QUANTITATIVE, c'est-à-dire mesurée.

Le résultat de cette mesure qui s'exprime par un nombre décimal abstrait, 0,90 par exemple, n'a pas de valeur en soi. 90 % : est-ce bon, est-ce mauvais?

(1) Louis POINSOT (1777-1859) fut élève de la première promotion de l'Ecole Polytechnique, Ingénieur des Ponts et Chaussées à 19 ans. Succéda, à 36 ans, à l'illustre mathématicien LAGRANGE, à l'Académie des Sciences.

Nous voyons apparaître la nécessité de comparer ce ratio à un étalon qui sera la pierre de touche de notre opération. Et de cette confrontation sortira, pour nous, l'indication d'une tendance et la sanction d'un contrôle.

Prenons un exemple pour être plus clair. Nous désirons savoir, pour un chantier en cours d'exécution, quel est, à un moment donné, le rapport des débours de main-d'œuvre au chiffre d'affaires correspondant, porté en situation.

Ce rapport calculé à partir des données comptables est trouvé égal à 35 %. Quelle vertu d'information ce rapport a-t-il en lui-même? Aucune, si nous ne l'accrochons à aucune référence.

L'idée nous vient, immédiatement, de COMPARER AU SEIN DE L'ENTREPRISE ce % RÉEL à celui que nous pouvons tirer des données de NOTRE DEVIS et qui est notre pourcentage STANDARD. Rétrospectivement, nous désirerons confronter notre RATIO RÉEL d'aujourd'hui à ceux que nous avons obtenus pour un travail identique plusieurs mois en ça : comparaison dans le temps.

Dans l'espace, notre besoin d'information va se tourner vers le MILIEU PROFESSIONNEL, vers la branche d'activité qui est la nôtre et lui demander, compte tenu de la nature des travaux normalement exécutés et des volumes d'activité des entreprises classées dans notre échantillon statistique, comment nos ratios se situent par rapport aux siens.

N'est-ce point le moment de rappeler, comme l'a déjà fait le Président BALENCY-BÉARN, que, dès 1954, le Président PABANEL, alors Président de la Fédération Parisienne du Bâtiment et aujourd'hui Président de la Fédération Nationale du Bâtiment, mettait à l'étude le problème des ratios et chargeait ses services de ce travail en liaison avec la Société d'Expertise Comptable « LA FIDUCIAIRE DE FRANCE ». Depuis quatre ans, cette œuvre a été poursuivie sous la vigoureuse impulsion du Président Henri FAURE, Président de la Fédération Parisienne du Bâtiment, et je tiens à devoir le remercier ici, ainsi que ses proches collaborateurs, de l'aide précieuse que j'ai trouvée auprès d'eux au cours de mon étude.

Ainsi, dès 1954, le terrain était défriché et posée cette classification des ratios :

— RÉELS et STANDARDS, à l'INTÉRIEUR DE L'ENTREPRISE;

— MOYENS et PILOTES, pour la PROFESSION.

Pour les définir, je ne puis faire mieux que de reprendre les termes mêmes des définitions formulées par la FIDUCIAIRE DE FRANCE.

A L'INTÉRIEUR DE L'ENTREPRISE, les RATIOS RÉELS sont établis en utilisant les données comptables et les statistiques de l'entreprise. La comparaison de ces ratios réels, établis à des dates et pour des périodes successives, permet de connaître l'évolution de la réalité.

Les ratios sont dits STANDARDS si les données en sont extraites des budgets comptables des prévisions statistiques; pour nous, de NOS DEVIS. Ces ratios standards peuvent être comparés et ajustés de période en période.

DANS LE MILIEU PROFESSIONNEL, les ratios MOYENS expriment, à un degré déterminé, la situation réelle de l'ensemble d'une branche professionnelle. Ils résultent rarement d'une simple moyenne arithmétique. — Les moyennes de position (la médiane, en particulier) permettent mieux d'atténuer l'influence des données extrêmes ou d'éviter un nivellement arbitraire.

Toujours dans la profession, les ratios pilotes sont l'équivalent des ratios standards de l'entreprise. Ils expriment les objectifs vers lesquels la branche d'activité considérée devrait tendre, compte tenu d'une situation économique définie. Ces ratios pilotes sont obtenus par l'étude approfondie des ratios moyens professionnels et des ratios, réels et standards, de certaines entreprises particulièrement qualifiées (tableau n° 1).

Sans aller plus loin, nous sentons, tout de suite, combien l'usage d'un ratio exige de précautions et de connaissance quant au contenu de ses deux termes.

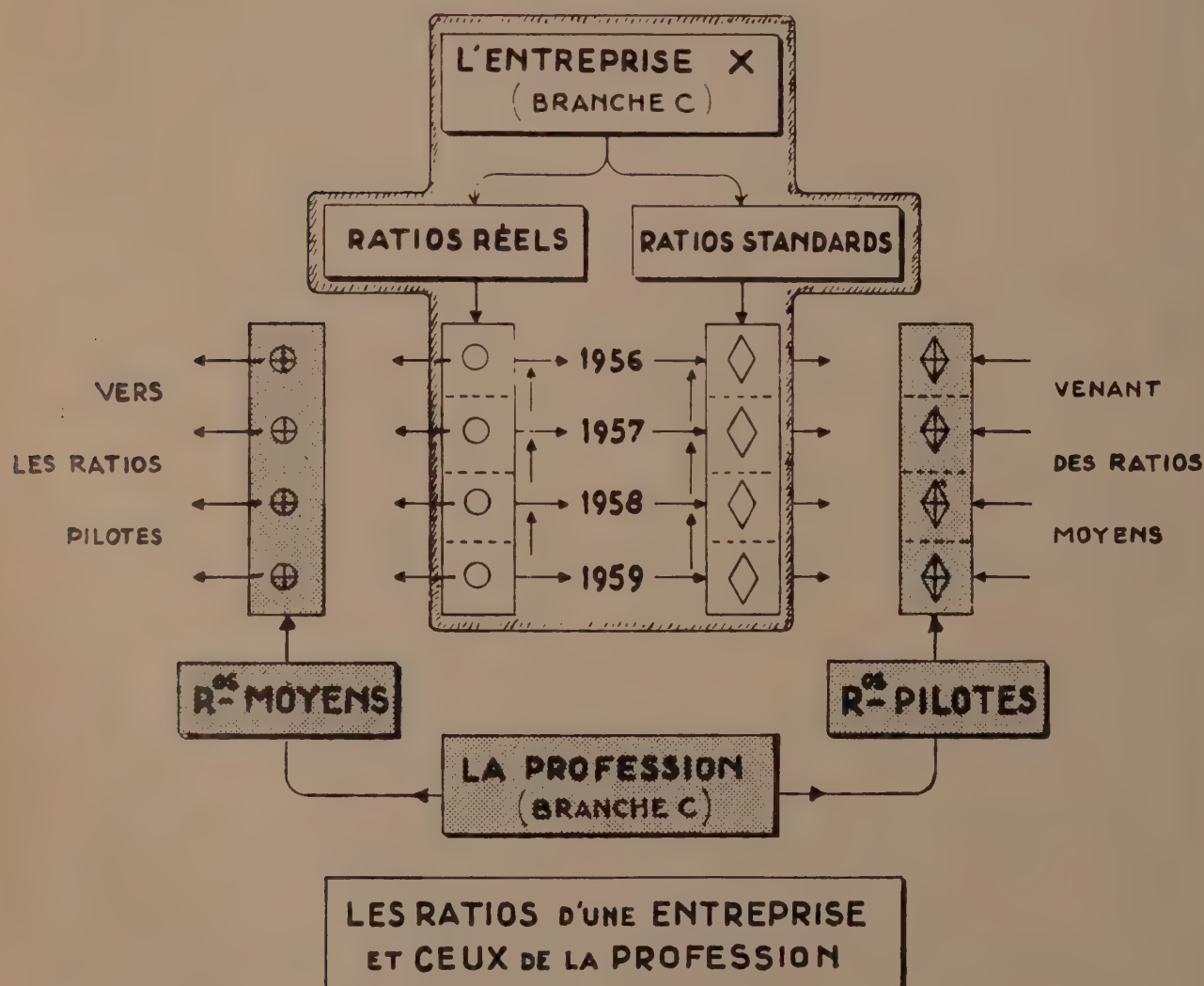
A l'intérieur d'une entreprise, cette connaissance devrait être aisée et les comparaisons périodiques présenteront, si l'on y tient la main, l'homogénéité désirable.

Il en va tout autrement des comparaisons inter-entreprises qui exigent l'emploi de cet instrument d'étude si

éclairant : la statistique; et aussi la normalisation des comptabilités générales et des comptabilités analytiques d'exploitation.

DISRAELI disait que « la statistique, c'est l'art de mentir, mais avec précision ». Il faut faire de la statistique en évitant l'erreur et en appeler à un spécialiste très qualifié pour l'exercice de cette mission globale : un homme rompu à l'observation des faits, à leur groupement méthodique, à la quantification des groupements, à la présentation la plus expressive et la plus rigoureuse des résultats. On imagine les difficultés de cette mission et combien elles s'allégeraient si les comptabilités étaient normalisées et si les avantages de devis bien établis, de la préparation et du contrôle systématique des travaux, d'une comptabilité analytique simplifiée, même très simplifiée, était compris de tous.

Tableau 1



LES RATIOS

EMPLOI DES RATIOS

Mais, venons-en à l'emploi pratique des ratios dans le milieu de l'entreprise du Bâtiment. On conçoit qu'une multitude de ratios puisse être imaginée. La première règle à suivre est de tendre à en réduire le nombre le plus possible et à n'en conserver que les plus efficaces. Le TABLEAU DE BORD n'est matériellement concevable et acceptable qu'à ce prix.

De nombreuses classifications, toujours trop compliquées pour nous, ont été avancées par les ouvrages qui traitent des ratios. L'APROBA a fixé la classification que nous allons dire et qui a, du moins, le mérite de la simplicité :

1° Les ratios techniques ou d'exploitation.

2° Les ratios commerciaux.

3° Les ratios financiers.

1. — Les ratios techniques.

Préjudiciellement, nous devons bien marquer que, dans tout ce qui va suivre, nous ne mettrons pas en question la validité de la doctrine APROBA en matière d'établissement des devis, de préparation du travail, du contrôle des travaux, de l'exploitation technique et statistique des résultats de ce contrôle et en matière de comptabilité analytique.

Tout au contraire, nous nous sommes servis d'elle pour asseoir le plan d'établissement des ratios d'exploitation.

Nous rappelons brièvement que l'APROBA préconise, instamment, pour chaque affaire étudiée, l'ÉLABORATION D'UN DEVIS DÉTAILLÉ avec calculs de sous-détails de prix analysant les temps de main-d'œuvre, les quantités de matériaux incorporés, les locations de « matériel affecté », les dépenses d'énergie, les frais d'études, etc...

De sorte que, lorsqu'un marché est conclu, les métrés des ouvrages et les prix unitaires ayant été établis avec exactitude, toutes les dépenses du futur chantier sont PARFAITEMENT BUDGÉTÉES, poste par poste et dans le détail.

Ce cadre correspond au prix contractuel; IL N'EN FAUDRA PAS SORTIR, PAS PLUS QUE DES DONNÉES DES PLANNINGS.

D'où, les opérations de contrôle continu qui jugeront si ces impératifs sont obéis dans la réalité.

Que s'ils ne l'étaient pas, les causes des divergences constatées seraient décelées afin qu'il y soit porté remède dans les délais les plus courts.

En même temps, il sera procédé à la tenue de fiches, par nature d'« ouvrages élémentaires » des temps de main-d'œuvre effectivement dépensée dans les ouvrages. Ceci, afin de suivre, au plus près, les rendements minutés et de modifier, s'il y a lieu, les temps standards issus du Bureau des méthodes.

Contrôle, également, des taux d'emploi du matériel, des moyens de transport, etc...

Il s'agit, on le voit, d'un ensemble parfaitement cohérent et qui engrène, avec les éléments structurels de la comptabilité analytique.

Ce travail a fait l'objet de brochures, éditées par l'APROBA⁽¹⁾ et qui informent l'entreprise dans le souci du maximum de clarté et de simplification. La tâche n'était pas facile. Elle est réalisée aujourd'hui grâce à la volonté animatrice et à la ténacité du Président BALENCY-BÉARN et à la diligente collaboration de MM. DUCRET et RODÉ.

Pour vous parler des ratios d'exploitation, je vais donc me référer à ce que le Président BALENCY-BÉARN appelle les « Tables de la Loi ». Et, pour commencer, rappeler rapidement, la terminologie adoptée par l'APROBA.

Voici le cadre d'un devis-type⁽²⁾.

1. LES DÉBOURSÉS « SECS » (Ds)

Ils comprennent les dépenses de :

- 1,1. Main-d'œuvre.
- 1,2. Charges sociales sur main d'œuvre.
- 1,3. Matériaux.
- 1,4. Matériel et installations affectés aux ouvrages, l'énergie et les matières consommables correspondantes.
- 1,5. Bois (de coffrages et autres) } affectés aux ouvrages
- 1,6. Outillage. }
- 1,7. Frais d'études spécifiques à la commande.

« Ds » concerne donc les ouvrages proprement dits.

2. LES FRAIS DE CHANTIER

- 2,1. Les frais de personnel.
 - 2,11. Personnel de maîtrise.
 - 2,12. Personnel technique détaché et affecté au chantier :
 - dessinateurs ;
 - métreurs ;
 - agent des méthodes.
 - 2,13. Personnel du bureau de chantier :
 - Pointeaux ;
 - Aides-comptables ;
 - Employés de bureau.
 - 2,14. Personnel d'entretien :
 - Magasiniers ;
 - Forgerons, mécaniciens ;
 - Electriciens ;
 - Menuisiers ;
 - Gardiens ;
 - Mousses.

2,2. Les frais indivis d'installation et de repliement.

2,3. Les frais de location de matériel indivis.

⁽¹⁾ Éditions APROBA, 33, avenue Kléber Paris (XVI^e).

⁽²⁾ Guide pour l'établissement des prix des travaux de bâtiment (Éditions APROBA).

Tableau 2

DÉTERMINATION DU PRIX DE VENTE DEVIS TYPE APROBA

A. TRAVAUX DIRECTS (T.D)

Déboursés "secs"	D_s
Frais de chantier	F_c
<u>DÉBOURSÉS TOTAUX</u>	
$D_s + F_c =$	D_t

FRAIS GÉNÉRAUX (F_g)

en % de D_t dont	
Frais généraux industriels %	
Frais généraux de siège %	
en débours	
$D_t \times F_g \% =$	F_g

PRIX DE REVIENT INDUSTRIEL (P_r)

$$D_t + F_g = P_r$$

FRAIS SPÉCIAUX (F_s)

en % du prix de vente	
$F_s (a) \%$	
en déboursés $F_s (b)$	
$F_s (b) (1 + F_g \%)$	$F_s' b$
Total	$P_r + F_s' b$

BÉNÉFICE ET ALÉAS (B)

$$\text{en \% du prix de vente} = B \%$$

PRIX DE VENTE, HORS TAXES (H.T)

$$\frac{[P_r + F_s' (b)] \times 100}{100 - [F_s (a) \% + B \%]} = P_{TD} (H.T)$$

B. TRAVAUX SOUS-TRAITÉS (S.T)

Montants en déboursés	---
Frais généraux et bénéfice	---
<u>TOTAL TRAVAUX S.T</u>	$P_{ST} (H.T)$
hors taxes	

C. PRIX DE VENTE $P_v (TC)$

TAXES COMPRISES

$$\text{Taxes} = x \% \text{ du prix de vente}$$

$$\frac{(P_{TD} + P_{ST}) \times 100}{100 - x} = P_v (TC)$$

Les travaux sous-traités visés au § B ci-dessus concernent les sous-traitants ayant traité directement avec l'Entrepreneur principal, seul responsable à l'égard du client des travaux sous traités par lui. Au cas où l'Entreprise, ici considérée, appartiendrait à un Groupement d'Entreprises dont elle serait le pilote, il conviendrait d'ajouter à $P_v (TC)$ ses frais de pilotage, étant entendu que le maître de l'ouvrage paierait directement les Co-traitants. —

Pour le détail du devis se reporter au "Guide pour l'établissement des prix des travaux du bâtiment" Editions APROBA 33 Avenue KLEBER XVI^e

2,4. Les frais divers de chantier :

- Occupation de voirie;
- Frais d'implantation spéciaux (géomètre);
- Essais du sol;
- Essais des matériaux, matières, bétons, aciers;
- Épreuves des ouvrages;
- Assurances diverses, propres au chantier;
- Panneaux, enseignes;
- Frais des bureaux du chantier :
 - Fournitures;
 - Téléphone;
 - Éclairage;
 - Chauffage;
 - Timbres, télégrammes;
 - Tirage de plans, etc.
- Frais d'éclairage et de chauffage des installations fixes de chantier (dépôts, magasins, garages);
- Protection des ouvrages et des chantiers :
 - Éventail;
 - Parapluie;
 - Bâchage;
 - Paillassons contre le froid;
 - Chauffage exceptionnel des agrégats, de l'eau, des locaux, etc.
- Nettoyage du chantier :
 - Chargement et enlèvement des gravois (quand ils n'ont pas été compris dans les sous-détails).
- Vêtements de travail : imperméables, cirés, bottes, casques, gants, etc...;
- Frais de voyage, hôtel, pourboires, transports urgents;
- Petite caisse de chantier;
- Remise en état des lieux, au départ (rues, trottoirs, etc...);
- Entretien des ouvrages pendant la durée du délai de garantie.

3. LES DÉBOURSÉS TOTAUX (Dt)

Ils sont la somme des déboursés secs et des frais de chantier.

4. LES FRAIS GÉNÉRAUX

Ils se divisent en : 4,1. Frais généraux industriels.

: 4,2. Frais généraux de siège.

4,1. Frais industriels (énumération non limitative).

- ##### 4,11. Frais d'études :
- Études d'avant-projet;
 - Études d'exécution et de métré non imputables aux comptes d'exploitation du chantier.

4,12. Frais de personnel communs à plusieurs chantiers et indivis.

4,13. Bureau des méthodes.

4,14. Frais de gestion de la main-d'œuvre.

4,15. Frais communs à plusieurs chantiers ou même à l'ensemble des chantiers de l'entreprise et non affectés au chantier :

- Amortissement et entretien du matériel non loué aux chantiers;
- Frais d'exploitation des dépôts, magasin, ateliers.

4,2. Frais de siège (énumération non limitative).

4,21. Frais de direction générale, de direction et du personnel administratif.

4,22. Honoraires.

4,23. Frais relatifs aux locaux :

- Loyer des bureaux, magasins, dépôts, ateliers, garage;
- Réparations locatives;
- Réfection des peintures;

- Entretien et nettoyage : personnel et produits d'entretien;
- Eau;
- Gaz;
- Électricité;
- Chauffage.

4,24. Frais de bureau du siège :

- Mobilier et matériel de bureau (entretien et amortissement);
- Fournitures (papier, imprimés, registres);
- Location de machines à écrire, à calculer (ou amortissement);
- Tirage de plans;
- Courrier-poste, télégrammes, téléphone;
- Timbres à quittances et divers;
- Abonnement à journaux et revues professionnels, ouvrages;
- Voyages et déplacements;
- Étrennes, pourboires.

4,25. Assurances :

- Vol, incendie, personnel de l'entreprise;
- Divers (avion).

4,26. Amortissements :

- Immeubles, magasins, dépôts, ateliers, garages, etc...

4,27. Frais commerciaux :

- Contentieux;
- Publicité;
- Créances perdues ou douteuses;
- Frais de représentation et de voyage de la direction;
- Frais de voyage du personnel du siège (non affectés);
- Commissions;
- Frais divers.

4,28. Frais financiers :

- C. C. M. E., Crédit Foncier, Crédit National;
- Caisse des Marchés de l'État;
- Intérêts des découverts bancaires, agios.

4,29. Contributions, taxes, impôts :

- Contribution locative;
- Patente;
- Impôt foncier;
- Enlèvement des ordures ménagères;
- Ecoulement à l'égout;
- Taxes diverses.

5. LES FRAIS SPÉCIAUX

5,1. Évalués en déboursés :

- Frais d'adjudications;
- Frais de cautionnement;
- Commissions;
- Bureaux d'études extérieurs imposés par le client.

5,2. Évalués en pourcentage du prix de vente :

- Frais d'assurance complémentaire de groupe;
- Bureaux de contrôle (Securitas, Veritas);
- Frais de marché, etc...

Sur ces bases, nous analyserons, au moyen de ratios, les facteurs suivants :

- La main-d'œuvre;
- Les matériaux;
- Le matériel;
- Les frais de chantier;
- Les frais généraux;
- Le chiffre d'affaires;

dont tous les éléments sont, nous l'avons déjà dit, issus du compte d'exploitation, de la comptabilité analytique, des statistiques du bureau des méthodes.

Ils auront DEUX CHAMPS D'APPLICATION :

- a) Les unités de production (chantiers, dépôts, ateliers);
 - b) L'ensemble de l'entreprise,
- et DEUX FINS :
- a) La gestion cyclique;
 - b) La gestion prévisionnelle.

DANS LE DOMAINE CYCLIQUE, la confrontation des ratios réels et des ratios standards (ceux-ci venus du devis) informera, d'une manière généralement globale, le chef d'entreprise et les divers échelons de responsabilité de l'existence d'ÉCARTS entre la prévision et l'exécution et elle « quantifiera » ces écarts.

DANS LE DOMAINE PRÉVISIONNEL, le chef de maison nourrira son information, d'abord, à l'intérieur de l'entreprise, par la courbe évolutive de ces ratios au cours de plusieurs exercices. Ensuite, sur le plan de la profession, par comparaison de ces ratios standards aux ratios moyens de la branche professionnelle à laquelle il appartient, pour des entreprises de volume comparable au sien et pour des travaux homologues.

Chronologiquement, la PRODUCTION DES RATIOS sera MENSUELLE, TRIMESTRIELLE OU ANNUELLE, selon les instructions de la Direction générale; et toujours avec accompagnement des RATIOS CUMULÉS.

1. Ratio des salaires.

Il est exprimé, pour chaque chantier, par le rapport suivant :

$$\frac{\text{Salaire horaire réel de l'ouvrier moyen}}{\text{Salaire horaire moyen du devis}}$$

Qu'allons-nous mettre dans les deux termes de ce rapport?

En numérateur, le coût de l'heure extrait de la comptabilité et tel qu'il résulte du quotient du montant des paies par les heures de pointage correspondantes.

Si l'on a un chantier éloigné du siège social, certains compagnons et chefs - garçons de qualité -, bénéficieront, souvent, d'indemnités de grands déplacements. Où placerons-nous ces frais de déplacements?

Il nous semble que la réponse est dictée par les prévisions du devis. Si celui-ci avait prévu de tels déplacements, il faudra les laisser hors des salaires et comparer les salaires réels aux salaires standards et les frais de déplacement réels aux frais de déplacement standards.

Si, au contraire, lors de l'étude, on avait supposé que toute la main-d'œuvre utilisée serait locale, il faut fonder les déplacements dans les salaires; car on a, en définitive, opté pour cette solution dans l'espoir que le rendement de la main-d'œuvre importée absorberait, et au-delà, la charge des frais de déplacement.

Au dénominateur, nous mettrons les données du devis homologues des données du numérateur.

Si le rapport ainsi établi est supérieur à 1,00, c'est-à-dire que la réalité comporte un dépassement par rapport aux salaires prévus, on sera conduit aux hypothèses suivantes :

1° Proportion trop forte du nombre de compagnons par rapport au nombre de garçons (cf. ratio n° 2);

2° Tendance du chef de chantier à rechercher la main-d'œuvre la plus chère, dans la pensée (non déraisonnable, a priori) qu'elle est la plus qualifiée.

Le ratio n° 4 du rendement de ma main-d'œuvre, que nous allons examiner plus loin, nous dira si les rendements obtenus justifient une telle position.

Ainsi, le tableau de bord pourra comporter, par chantier, soit un ratio moyen, soit un ratio par qualification (compagnon et manœuvre) et par spécialité si l'on désire pousser l'analyse plus loin. Dans ce dernier cas, un petit tableau sera nécessaire.

Ce travail sera fait, chaque mois, par chantier, avec, toujours, en complément, les ratios cumulatifs; et, à titre statistique, pour l'ensemble de l'entreprise et par région, tous les semestres ou chaque année.

2. Ratio de qualification de la main-d'œuvre.

C'est, pour le ratio réel, le rapport :

$$\frac{\text{Nombre total des heures de compagnons}}{\text{Nombre total des heures de tous les ouvriers}}$$

où les heures sont celles qui auront été pointées sur le chantier considéré.

Il sera comparé au même rapport émanant des éléments de base du devis (ratio standard).

Exemple : Ratio réel	0,65
Ratio du devis	0,55
Leur rapport	$\frac{0,65}{0,55} = 1,18$

En « qualification compagnons » le chantier supporte le poids d'un dépassement de 18 %.

Ici, un seul ratio à insérer au tableau de bord, mensuellement, par chantier et pour l'ensemble de l'entreprise.

3. Ratio de rotation de la main-d'œuvre.

Ce ratio reflétera, en quelque manière, les qualités psychologiques du chef de chantier, la souplesse de sa politique d'embauchage et de débauchage pendant la durée du chantier, sa souplesse de commandement, sa tendance à engager, à des salaires trop bas une main-d'œuvre de valeur médiocre, son ignorance des pertes de rendement inhérentes au défaut de stabilité du personnel.

Ce ratio s'exprime par le rapport :

$$\frac{\text{Nombre d'ouvriers inscrits sur les rôles}}{\text{Effectif moyen}}$$

établi, soit pour l'année, soit pour une période arbitraire à décompter en jours de travail.

Au dénominateur de ce rapport, l'effectif moyen, est égal à :

$$\frac{\text{total des heures pointées}}{2\ 200\ \text{h}}$$

(pour l'année)

ou :

$$\frac{\text{total des heures pointées}}{8,5\ \text{h} \times \text{nombre de jours travaillés}}$$

(pour une période de temps inférieure à l'année).

2 200 et 8,5 représentant les nombres d'heures de travail moyen, admis pour l'année et pour la journée ouvrable.

Ce ratio sera établi mensuellement, pour chaque chantier; annuellement pour l'entreprise (statistique).

4. Ratio du débours de la « main-d'œuvre ouvrages » rapporté aux déboursés secs.

Il concerne la main-d'œuvre intéressant DIRECTEMENT LES OUVRAGES, indépendamment de la main-d'œuvre d'installation de chantier et du matériel.

Il est donné par le rapport :

$$\frac{\text{Total des salaires « ouvrages »}}{\text{Montant total des déboursés secs}}$$

(charges sociales, heures supplémentaires, indemnités comprises).

Il postule, pour le numérateur, une ventilation des débours réels de main-d'œuvre pour discriminer ceux qui n'affectent que les ouvrages proprement dits; et, par conséquent, un dispositif comptable qui, au vu des renseignements reçus du chantier, assumera cette discrimination. C'est ce que prévoit le manuel APROBA de la comptabilité analytique.

Quant au montant total des déboursés secs tirés du devis et figurant au dénominateur, la même distinction sera à faire entre les déboursés ouvrages et les déboursés frais de chantier.

Pour celles des entreprises dont la comptabilité d'exploitation analyse ainsi les déboursés, l'établissement de ce ratio ne présentera pas de difficultés. Pour les autres, il faudra, ou qu'elles renoncent à son emploi ou qu'elles élaborent des dispositions extra-comptables qui leur permettront d'atteindre l'objectif visé.

A ce ratio réel, correspondra le ratio standard, dont les deux termes seront calculés à partir des prix standards.

Ce ratio serait établi par chantier, chaque mois pour le dernier mois et aussi en cumulé. On conçoit qu'il n'aura de signification que par catégories et par natures d'ouvrages comparables dans leur essence (par exemple : H. L. M., Logécos, pavillons, etc...)

Certaines entreprises usent de ce ratio pour suivre, mensuellement, l'évolution du rendement de leur main-d'œuvre; et ce, par chantier.

Il nous semble qu'en raison de la complexité de son établissement, ce ratio, ainsi que le suivant, soit d'un maniement un peu lourd.

5. Ratio des « matériaux ouvrages ».

Il s'exprime par le rapport :

$$\frac{\text{Valeur réelle des « matériaux ouvrages »}}{\text{Déboursés secs devis}}$$

Par « matériaux ouvrages », on entend les matériaux incorporés aux ouvrages. Leur valeur est égale à celle du stock à l'origine de la période considérée, majorée de la valeur des matériaux reçus pendant la dite période, et minorée : d'une part, de la valeur des stocks en fin de période, d'autre part, des matériaux utilisés pour l'installation du chantier et du matériel au cours de la période considérée. La remarque faite ci-avant pour l'établissement du ratio n° 4, s'applique au ratio n° 5 en ce qui concerne la production de tous ces renseignements par la comptabilité analytique.

Ce ratio devrait être établi tous les mois, tant pour la dernière période que pour le cumulé. Certaines entreprises, qui trouvent trop lourdes les charges d'établissement mensuel des inventaires de tous les matériaux, se satisfont de ratios trimestriels.

6. Ratio des « déboursés totaux de main-d'œuvre » rapportés aux « déboursés totaux ».

Par analogie avec l'appellation DÉBOURSÉS TOTAUX du Guide des prix APROBA, on englobera, sous le vocable « déboursés totaux de main-d'œuvre », TOUS LES SALAIRES dépensés sur le chantier, tant pour les ouvrages que pour les installations du chantier, son repliement, l'installation et la dépose du matériel, les services divers (mousse, forgeron, etc...). En un mot, la somme des salaires « ouvrages » et des salaires « frais de chantier ».

Ce ratio est égal à :

$$\frac{\text{Déboursés totaux réels de main-d'œuvre}}{\text{Déboursés totaux devis}}$$

(charges sociales, heures supplémentaires, indemnités comprises).

Ici, la comptabilité analytique donnera la valeur des deux termes du rapport.

Pour le ratio standard, on se référera au devis qui le fournira, immédiatement, pour l'ensemble du chantier, ou à la comptabilité analytique pour la période considérée.

Ce ratio a la faiblesse de ne pas discriminer la main-d'œuvre « ouvrages » de la main-d'œuvre « installations ».

Il est à remarquer que, si l'on se réfère au ratio global du devis, les valeurs des deux termes du ratio réel devront être ajustées.

Au numérateur, il ne faudra affecter, compte tenu de l'avancement des travaux, que la seule part des débours de main-d'œuvre issue des frais d'installation et de repliement, de pose et de dépose du matériel, amortie sur la seule partie des travaux exécutés.

Pour le dénominateur, la même correction sera nécessaire pour la main-d'œuvre, mais, en sus, en ne retenant pour les matériaux relatifs aux « installations et matériel » que ceux qui s'amortissent sur les seuls travaux exécutés, et en retranchant la valeur des stocks existant à la fin de la période en cause.

Les renseignements globaux émaneront des services comptables; les correctifs seront le fait des conducteurs de travaux responsables des chantiers et qui disposent des devis et planning nécessaires à ces ajustements.

Par chantier, ce ratio serait calculé mensuellement, pour le dernier mois; avec ratio cumulé, semestriellement pour l'ensemble de l'entreprise.

Remarque analogue à celle qui a été formulée pour les ratios 4 et 5; ici encore la complexité d'établissement des ratios 6 et 7 alourdit beaucoup leur emploi.

7. Ratio des déboursés totaux de matériaux.

Par analogie avec le précédent, il est égal à :

$$\frac{\text{Déboursés totaux de matériaux réels}}{\text{Déboursés totaux devis}}$$

Les mêmes remarques sont à formuler, quant au contenu de ses deux termes, que celles qui viennent d'être dites pour le ratio main-d'œuvre n° 6.

8. Ratio des frais de chantier.

Il semble qu'il serait expédient de retrancher des débours « frais de chantier » les dépenses relatives au « matériel indivis ».

Pourquoi cette soustraction? Parce qu'il paraît intéressant de bloquer, dans un ratio « matériel » tout ce qui concerne le matériel, c'est-à-dire, le matériel « affecté » et le matériel « indivis ». Il faut que l'on connaisse la valeur « équipement en matériel » du chantier (estimée en unités de location). C'est elle qui mesure le degré de mécanisation du chantier.

Les frais de chantier comprendraient donc : les dépenses de main-d'œuvre, de matériaux, relatives aux installations, les locations des installations (baraquements divers).

Dans ces conditions, le ratio des frais de chantier s'écrira :

$$\frac{\text{Frais de chantier réels (matériel indivis exclus)}}{\text{Déboursés totaux devis}}$$

avec les ajustements à faire subir aux chiffres comptables des déboursés totaux à la date d'établissement du ratio, comme il a été précisé pour les ratios n° 6 et 7.

Ratio produit mensuellement, par chantier, pour le dernier mois et pour le cumulé.

D'un établissement trop laborieux, ce ratio devrait s'effacer devant le ratio n° 17.

9. Ratio de matériel.

En principe, l'entreprise se sert de son matériel personnel, le « service matériel » louant et facturant ses services aux chantiers; mais, il advient qu'elle loue du matériel à l'extérieur.

Le ratio matériel sera donc égal à la somme des deux ratios :

$$9^a \frac{\text{Montant des locations internes réelles}}{\text{Déboursés totaux réels}}$$

$$9^b \frac{\text{Montant des locations extérieures réelles}}{\text{Déboursés totaux réels}}$$

Ce ratio $9^a + 9^b = 9$, sera rapproché du ratio standard extrait du devis.

Le ratio 9^b éclairera sur l'importance des locations faites à l'extérieur et soulèvera diverses interrogations : emploi judicieux du matériel en propriété, mauvais entretien de ce matériel, complaisance à l'égard d'un locateur, etc...

Ratio trimestriel par chantier; semestriel et annuel pour l'ensemble de l'entreprise.

10. Ratio d'entretien du matériel.

C'est le rapport :

$$\frac{\text{Dépenses d'entretien (main-d'œuvre, rechanges, etc.)}}{\text{Valeur vénale du matériel entretenu}}$$

Certains auteurs, certaines entreprises, adoptent ce ratio. D'autres proposent, en dénominateur, le chiffre d'affaires, ou, encore, le montant des locations internes.

Chaque engin ayant sa fiche où sont notées les facturations d'entretien, il nous paraît que la formule proposée ici, qui est d'un établissement facile, est la plus efficace car elle fait ressortir le moment où le parc appelle des renouvellements par suite de l'aggravation des dépenses d'entretien.

Ce ratio serait comparé avec ceux des exercices précédents, ou des périodes de bilan précédentes.

Ratio semestriel pour l'ensemble de l'entreprise.

11. Ratio d'équipement mécanique.

C'est le ratio qui indique quel effort est fait, chaque année, pour l'équipement mécanique des chantiers. Cet effort est mesuré par le rapport :

$$\frac{\text{Annuité d'amortissement} + \text{dépenses d'entretien}}{\text{Chiffre d'affaires (H. T. — H. S. T.)}^{(1)}}$$

L'amortissement c'est, aux termes du plan comptable de 1957, « la constatation comptable de la perte subie sur la valeur d'actif des immobilisations qui se déprécient avec le temps ». Le matériel répond évidemment à ce critère de dépréciation, qu'il s'agisse d'usure, de vétusté, d'obsolescence.

De quel chiffre d'affaires s'agit-il? Nous reparlerons, plus loin, de ce point particulier qui va intéresser tous les ratios où le chiffre d'affaires figure en dénominateur.

Ainsi l'amortissement, auquel s'ajoutent les dépenses d'entretien, mesure bien notre effort d'équipement annuel.

Mais il ne nous éclaire pas sur la dynamique de nos investissements. Ce ratio peut en effet être satisfaisant, par comparaison avec les précédents, ou avec le ratio moyen professionnel, tout en correspondant à une année d'épuisement total ou très avancé de nos investissements. Il faut donc connaître de quoi sera fait demain en ce domaine.

La valeur des immobilisations en matériel nettes nous en instruira.

12. Ratio d'investissement en matériel.

$$\frac{\text{Immobilisations nettes (c.-à-d. amortissements déduits)}}{\text{Chiffre d'affaires annuel (H. T. et H. S. T.)}^{(1)}}$$

La comparaison de ce ratio avec ceux des dernières périodes dira au chef d'entreprise s'il est en perte de vitesse ou, au contraire, en progression dans le domaine des investissements.

On objectera — et la remarque vaut pour la plupart des ratios — que, connaissant en valeur absolue les montants des immobilisations nettes des derniers exercices, la confrontation immédiate de ces montants doit suffire au chef d'entreprise et que point n'est besoin de ratios pour obtenir l'éclaircissement qu'il désire.

Penser ainsi, c'est négliger deux des qualités spécifiques des ratios, à savoir :

1° Qu'ils renseignent toujours par rapport à quelque chose. Ici, dans notre ratio d'amortissement, par rapport au chiffre d'affaires. Si, une année, le chiffre d'affaires a doublé ou est en voie de progression rapide, la valeur absolue de nos investissements n'aurait pas la signification que nous trouvons dans ce ratio qui nous avertit que nos investissements ne suivent pas la croissance de notre affaire.

2° Qu'ils sont toujours exprimés par des nombres de faibles valeurs, à deux chiffres généralement, trois quel-

⁽¹⁾ H. T. = hors taxes; H. S. T. = hors sous-traitants;

quefois, et qu'il y a grande commodité mentale à opérer par leur intermédiaire. Leur traduction en graphiques est également beaucoup plus simple, surtout quand les nombres en valeur absolue comportent un grand nombre de chiffres.

Ces deux ratios 11 et 12 sont produits, semestriellement, pour l'ensemble de l'entreprise.

13. Ratio de frais généraux.

Nous bloquons, pour la simplification de notre exposé, les frais généraux industriels et les frais généraux de siège.

$$\frac{\text{Frais généraux totaux réels}}{\text{Déboursés totaux devis}}$$

Si le patron veut — et il le voudra le plus souvent — connaître les deux sous-ratios : frais généraux industriels et frais généraux de siège, la comptabilité analytique lui en fournira immédiatement les éléments constitutifs. (Débours réels et débours standards.)

Ce ratio serait produit, pour l'ensemble de l'entreprise, tous les trimestres.

Tous les ratios ci-dessus ont été calculés par rapport aux déboursés totaux tirés de la comptabilité analytique (Débours réels et débours standards).

Il y a certainement, nous l'avons déjà dit, un appréciable avantage de simplification à se référer au chiffre d'affaires plutôt qu'aux déboursés secs et aux déboursés totaux.

Les ratios suivants répondent à cette fin.

$$\text{Ratio n° 14} \quad \frac{\text{Déboursés totaux réels}}{\text{Chiffre d'affaires (H. T. et H. S. T.)}}$$

Ce ratio réel sera rapproché du ratio standard. Si le contrôle a déjà porté sur les débours de main-d'œuvre, de matériaux, etc., il ne semble pas opportun de se surcharger du calcul de ce ratio.

$$\text{Ratio n° 15} \quad \frac{\text{Débours totaux réels de main-d'œuvre}}{\text{Chiffre d'affaires (H. T. et H. S. T.)}}$$

$$\text{Ratio n° 16} \quad \frac{\text{Déboursés de matériaux réels}}{\text{Chiffre d'affaires (H. T. ou H. S. T.)}}$$

$$\text{Ratio n° 17} \quad \frac{\text{Frais de chantier réels}}{\text{Chiffre d'affaires (H. T. ou H. S. T.)}}$$

$$\text{Ratio n° 18a} \quad \frac{\text{Montant locations internes du matériel}}{\text{Chiffre d'affaires (H. T. ou H. S. T.)}}$$

$$\text{Ratio n° 18b} \quad \frac{\text{Montant locations externes du matériel}}{\text{Chiffre d'affaires (H. T. ou H. S. T.)}}$$

$$\text{Ratio n° 19} \quad \frac{\text{Frais généraux totaux réels}}{\text{Chiffre d'affaires (H. T. ou H. S. T.)}}$$

Si l'on veut s'épargner lors de chaque contrôle, l'élaboration du ratio standard de la période considérée, on pourra, dès l'ouverture du chantier, et compte tenu des plannings d'exécution, déterminer prévisionnellement les ratios mensuels standards. Rapprochés des ratios réels, ils éclaireront la situation quant à la tendance, sans avoir, toutefois, le degré d'exactitude de la méthode directe préconisée par l'APROBA.

20. Valeur production horaire.

C'est un ratio dont certaines entreprises se servent pour contrôler, globalement, le rendement de la main-d'œuvre de chacun de leur chantier.

Pour ce contrôle, elles lient évidemment ce ratio au ratio n° 1 de salaires, étudié ci-avant.

Ce ratio n° 20 détermine, par heure d'ouvrier, le montant du chiffre d'affaires correspondant.

Il est égal à :

$$\frac{\text{Chiffre d'affaires après révision}^{(1)}}{\text{Nombre d'heures pointées}}$$

En ce qui concerne le dénominateur il faudra faire subir un ajustement au nombre d'heures pour ne prendre en compte les heures d'installation du chantier et du matériel et de repliement qu'au prorata du montant des travaux exécutés.

Au numérateur, le chiffre d'affaires est la valeur, au prix de vente, à 100 % des travaux EFFECTIVEMENT RÉALISÉS dans le mois et portés en situation avant retenue de garantie. Ce n'est pas le chiffre d'affaires fiscal. C'est le chiffre d'affaires rapporté au devis; duquel devis on a tiré le ratio standard « valeur heure production ».

Nous pensons que ce ratio est particulièrement efficace pour les chantiers moyens ou petits, de dix à trente hommes, comportant une grande variété de travaux, avec cycles d'exécution nombreux et rapides pour lesquels un renseignement global peut être, par cette voie, rapidement obtenu et avec suffisamment d'exactitude.

21. Rotation des stocks.

Ce ratio intéresse surtout les entreprises d'équipement — plomberie-sanitaire, chauffage, électricité — et les entreprises de menuiserie qui sont dans l'obligation de constituer un stock-outil ou un stock de sécurité.

Il est bien évident que l'optimum, pour ce stock, est d'être immobilisé au minimum.

D'où l'intérêt de poser le rapport :

$$\frac{\text{Valeur achats appareils et matières du dernier exercice}}{\text{Valeur stock}}$$

En cas de quasi-stabilité de la monnaie, les deux termes du rapport peuvent être pris : le numérateur, pour sa valeur comptable, le dénominateur, pour sa valeur au jour de l'inventaire (par exemple tous les trimestres). En cas d'instabilité monétaire, il conviendra de réévaluer les deux termes du ratio, à une même date, pour qu'ils aient une signification efficace.

Ratio à produire tous les semestres.

22. Chiffre d'affaires « critique ».

Quand nous parlons, dans nos vues prévisionnelles, de chiffre d'affaires, quand nous évoquons nos frais généraux et leur poids, quand nous déplorons l'insuffisance de volume de notre « carnet de commandes », à quelle norme du chiffre d'affaires nous référons-nous ?

⁽¹⁾ Compris T. S. (travaux supplémentaires).
— H. S. T. (hors sous-traitants);
et H. T. (hors taxes).

Au chiffre d'affaires de l'année dernière qui fut, peut-être, une année exceptionnellement active ou, au contraire, exceptionnellement calme?

A la moyenne des chiffres d'affaires des trois dernières années?

Que demande-t-on à ce chiffre d'affaires, non défini et toujours évoqué, sinon, en première étape, d'assumer la couverture de nos frais généraux fixes? Vos frais généraux de siège et industriels sont peu variables. Ils s'attachent à l'équipe que vous avez constituée, à vos cadres administratifs et techniques, sédentaires ou actifs, à tous ceux-là pour qui vous êtes « Le Patron ».

Ces débours de frais généraux, votre connaissance du marché, votre expérience, vous a enseigné qu'il ne fallait pas qu'il dépasse un pourcentage (12 % par exemple) du chiffre d'affaires (sans bénéfice et hors taxes) pour que vous ayez, de loin en loin, chance de traiter une affaire.

Vous connaissez d'autre part, en valeur absolue, le montant annuel de ces frais généraux (120 millions par exemple).

Vous en déduisez, immédiatement, que votre chiffre d'affaires minimal, votre chiffre d'affaires « critique » est $\frac{120}{0,12} = \text{un milliard d'anciens francs.}$

C'est le niveau du chiffre d'affaires au-dessous duquel une part de vos frais généraux, non couverte par des situations de travaux, amenuisera votre actif.

Il nous semble donc que c'est ce chiffre d'affaires qu'il conviendrait d'adopter pour le ratio n° 12, pour le doter d'une base solide et significative.

Ce n'est point que ce chiffre d'affaires critique ait caractère d'invariabilité. Il sera ajusté périodiquement, pour tenir compte des fluctuations possibles du % des frais généraux : la progression du rendement technique de notre affaire peut, par exemple, faire passer notre pourcentage de frais généraux de 12 à 10 %; de même, la réduction du nombre de nos chantiers, au bénéfice du volume d'affaires qu'ils représentent aurait un effet du même ordre (le même conducteur de travaux, le même chef de chantier, le même ingénieur du bureau d'études, assumeront une production de 5 à 10 à 20 % plus élevée).

Voilà ce que nous entendons par chiffre d'affaires critique.

Nous tenons à aller au-devant du grief qui pourrait nous être adressé de vouloir « faire du chiffre d'affaires » à tout prix pour atteindre le seuil critique.

Tel n'est pas notre dessein et ce concept n'entame en rien la liberté du chef d'entreprise de fixer, comme il l'entend, sa politique quant au volume de son chiffre d'affaires annuel.

Cette rapide revue des principaux ratios techniques (on pourrait en établir encore d'intéressants par dizaines) en a fait apparaître un nombre élevé. Pour l'efficacité du tableau de bord, il faudra en éliminer et faire un choix.

Dans ce que nous avons dit, au début de cet exposé, nous avons marqué que le tableau de bord est l'émanation de la personnalité du chef d'entreprise. Celui-ci décidera donc.

L'APROBA donnera des directives sur ce sujet, lorsqu'elle aura approfondi le problème du tableau de bord, en ses données concrètes et pratiques.

Passons maintenant aux ratios commerciaux.

2. — Les ratios commerciaux.

Nous en proposons trois :

1. Le carnet de commandes :

$$\frac{\text{Travaux restant à exécuter} + \text{Travaux en portefeuille}}{\text{Chiffre d'affaires annuel}} \times 100$$

Nous avons dit, à propos du tableau de bord, ce qu'il fallait penser de ce ratio considéré isolément, et l'intérêt d'y joindre des tableaux analyseurs, dans certains cas.

2. Affaires traitées ou ratio de réussites :

$$\frac{\text{Total montants propositions remises}}{\text{Montant des affaires traitées}} \times 100$$

3. Découverts clients :

$$\text{n° 3a} \quad \frac{\text{Sommes dues par le client}}{\text{Moyenne des situations des trois derniers mois}} \times 100$$

Pour le premier de ces ratios, le chiffre d'affaires annuel sera, en principe, le chiffre d'affaires critique.

Le second n'appelle aucune remarque, sauf en ce qui concerne la période à considérer. Ce sera le dernier semestre, par exemple.

Pour le troisième, nous précisons que les sommes dues correspondent aux impayés. C'est le ratio des mauvais payeurs. S'il est nul, c'est que la situation est excellente.

Ce ratio peut être accompagné du suivant, plus efficace, gestionnellement parlant :

$$\text{n° 3b} \quad \frac{\text{Sommes encaissées}}{\text{Situation globale depuis l'ouverture des travaux (moins retenue de garantie)}}$$

Ce ratio fera découvrir si la facturation est très en retard ou beaucoup trop lente.

C'est souvent le cas pour les travaux d'entretien.

De ces trois ratios, le dernier, seul, sera établi par chantier et mensuellement. Les deux autres concernent l'ensemble de l'entreprise.

* *

3. — Les ratios financiers.

Avant tout, précisons que l'optique de notre examen est celle de l'entrepreneur et non celle du banquier.

Pour le banquier, le facteur « sécurité » prime tous les autres.

Pour l'entrepreneur, il y a beaucoup plus. Son bilan représente, certes, l'état d'équilibre financier de son entreprise; mais, derrière ce tableau, si expressif dans son aridité, se profile, pour le chef d'entreprise, l'équipe d'hommes qu'il a constituée. Il mesure quelles responsabilités humaines il assume à leur égard. Pour que ces hommes soient heureux, il faut qu'ils soient assurés du lendemain.

Et puis, techniquement, le patron veut voir loin. Il sait que le progrès technique conditionne la survie de son entreprise, et qu'en raison de la rapidité d'évolution de ce progrès il doit se comporter aujourd'hui, plus en fonction de DEMAIN QU'EN FONCTION D'HIER. Avec lucidité, il accepte de « prendre ses risques ».

Il y aura donc, dans son action financière, un balancement entre la prudence et l'élan; et il demandera, parfois, à la prudence financière, de s'effacer un peu devant les CERTITUDES RAISONNÉES DE SON AUDACE TECHNIQUE.

Frédéric AMIEL disait : « Un paysage quelconque est un état d'âme. » On en peut dire autant d'un grand nombre d'objets de la connaissance humaine.

Du bilan, en particulier; et devant son bilan, l'état d'âme de l'entrepreneur ne sera pas celui de son banquier.

Nous commencerons, si vous le voulez bien, par rappeler très rapidement quelles sont les grandes masses du bilan. Il serait hors de propos de faire ici l'examen détaillé de ses postes (tableau n° 3).

Au *passif* (qui représente les moyens et leur origine) :

— Le capital social et les réserves (c'est-à-dire LES FONDS PROPRES).

— L'exigible à LONG TERME et à MOYEN TERME.

— L'exigible à COURT TERME.

Le long terme jusqu'à dix ans; le moyen terme de un à cinq ans; le court terme au-dessous d'un an.

Les fonds propres + le long terme + le moyen terme constituent les CAPITAUX PERMANENTS.

Le long terme + le moyen terme + le court terme, ES FONDS D'EMPRUNT OU FONDS ÉTRANGERS.

A l'*actif* (qui représente « l'emploi » fait des moyens reçus du passif).

— Les IMMOBILISATIONS (brutes ou nettes), c'est-à-dire avant ou après amortissements).

— Le RÉALISABLE et le DISPONIBLE, dont le total constitue l'ACTIF CIRCULANT.

Les capitaux propres doivent, en principe, courir les risques de l'entreprise. Le long terme et le moyen terme reposent sur la solvabilité et la rentabilité de l'entreprise, solvabilité et rentabilité qui ne sont que l'expression de sa bonne organisation et de sa bonne gestion technique, financière et commerciale. Le moyen terme s'intéresse à des opérations d'équipement non financées par le capital ou par une émission d'obligations. Les frontières du moyen terme avec le long terme et le court terme ne sont pas nettement tranchées et l'on peut dire que le moyen terme est du court terme prolongé ou du long terme raccourci.

Enfin, le court terme ne doit financer que des opérations dont le déroulement constitue le cycle courant de l'exploitation.

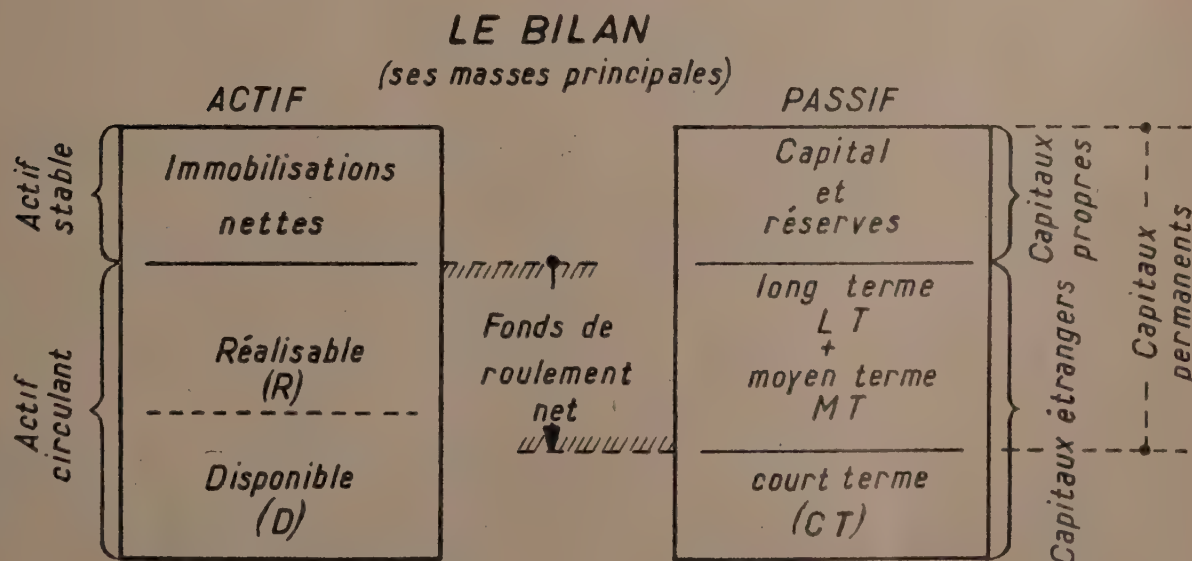
Deux mots sur le *fonds de roulement* dont il est parlé souvent dans la confusion, faute de netteté dans la définition des vocables employés.

Généralement, le FONDS DE ROULEMENT est défini comme étant la DIFFÉRENCE entre les CAPITAUX PERMANENTS ET LES IMMOBILISATIONS.

Cette définition entraîne sa complémentaire (étant donné que le total de l'actif est égal au total du passif) : le FONDS DE ROULEMENT est la DIFFÉRENCE ENTRE L'ACTIF CIRCULANT et le COURT TERME du passif.

Nous retiendrons cette dernière définition pour la clarté de ce qui va suivre.

Tableau 3



Fonds de roulement "brut" ou "économique" = $R + D$

Fonds de roulement "net" = $R + D - CT$

Si cet actif circulant est supérieur au court terme, on dit que le fonds de roulement est POSITIF. S'il est inférieur au court terme, on dit que le fonds de roulement est NÉGATIF.

Et là, on touche au défaut de cette définition trop sommaire. Car, enfin, ce bilan que nous avons sous les yeux, il concerne des opérations révolues, des opérations concrètes qui ont exigé des fonds fournis par le fonds de roulement. Comment auraient-elles pu être menées à bien, avec des fonds négatifs? Cet argent, ces fonds, n'étaient ni négatifs, ni positifs; ils étaient des fonds, sans plus. C'est que, lorsque nous parlons de fonds de roulement, sans aucun qualificatif d'accompagnement, nous appliquons ce vocable à deux objets différents.

Il y a le FONDS DE ROULEMENT BRUT OU ÉCONOMIQUE, celui de l'entrepreneur, et c'est celui dont nous venons de parler dans l'immédiat; c'est l'ACTIF CIRCULANT. C'est avec lui que nous avons travaillé. Ce que les clients nous doivent, la valeur des travaux en cours, éventuellement nos stocks, nos comptes en banques et de chèques postaux, notre caisse, tout cela, c'EST L'ARGENT QUI ROULE, QUI TOURNE, AU COURS D'UN CYCLE DE NOTRE EXPLOITATION.

Notre banquier, lui, veut voir plus loin. Il nous dit : « Votre fonds de roulement brut, qui l'a financé? Retranchez-en, je vous prie, le court terme où je suis personnellement impliqué, et voyons ce qu'il en restera. »

S'il en reste quelque chose, il dit que votre fonds de roulement est positif.

S'il en reste moins quelque chose, que votre fonds de roulement est négatif.

Ce fonds de roulement, c'est le FONDS DE ROULEMENT NET OU FONDS DE ROULEMENT FINANCIER. IL REPRÉSENTE UNE DIFFÉRENCE et, A CE TITRE, IL PEUT, EN EFFET, ÊTRE NÉGATIF.

On entend dire, et on lit parfois, qu'un fonds de roulement négatif crée une situation catastrophique. Ce n'est pas tout à fait exact. Pour mieux me faire comprendre, je vais avoir recours à une image. Le danseur de corde, le funambule qui, dans l'espace, évolue sur un filin d'acier, n'est pas en situation catastrophique; il est en situation périlleuse. S'il est habile et si son filin d'acier est suffisamment résistant, il terminera son travail sous les applaudissements et sans dommage personnel.

Le banquier, lui, n'aime pas que le filin ne soit que du court terme, et il n'aime pas les situations périlleuses dont il est le premier à faire les frais. Il dit à l'entrepreneur : « mettez des capitaux permanents dans le filin, il en sera plus résistant ». Et SON CONSEIL DE SAGESSE DOIT ÊTRE SUIVI.

Je m'excuse de cette digression, et je résume :

— FONDS DE ROULEMENT BRUT = ACTIF CIRCULANT.

— FONDS DE ROULEMENT NET = ACTIF CIRCULANT MOINS COURT TERME.

Cela précisé, venons-en à l'examen des cinq grands postes du bilan.

1. Une PREMIÈRE RÈGLE est que les immobilisations soient couvertes par les fonds PROPRES et, à tout le moins, par les fonds PERMANENTS.

Le ratio qui vérifie cette condition sera :

$$\frac{\text{Capitaux permanents}}{\text{Actif immobilisé (net, c'est-à-dire amortissements déduits)}} \times 100$$

On remarquera que, s'agissant d'un rapport, il n'est pas absolument nécessaire de réévaluer les immobilisations, cette revalorisation entraînant automatiquement celle des capitaux permanents; double ajustement qui conserve la signification du ratio.

Ce ratio s'inscrira au tableau de bord.

Normalement : 130 % et plus.

2. Une DEUXIÈME RÈGLE est que les capitaux CIRCULANTS (travaux en cours et stocks exclus) DOIVENT COUVRIR LES DETTES A COURT TERME.

$$\frac{\text{Réalisable} + \text{disponible}}{\text{Exigible à court terme}} \times 100$$

C'est le ratio de *trésorerie totale*.

Ce ratio, nous l'avons dit en parlant du tableau de bord, ne garantit pas le chef d'entreprise des surprises désagréables. Il faut lui adjoindre un tableau prévisionnel, très détaillé.

Il figurera au tableau de bord accompagné du dit tableau.

Il devrait normalement être voisin de 1,00 (100 %).

3. TROISIÈME RÈGLE : celle de l'*autonomie financière*.

Un rapport de sécurité doit être réalisé entre les CAPITAUX PROPRES et les CAPITAUX D'EMPRUNT, c'est-à-dire les CAPITAUX ÉTRANGERS.

Ce ratio sera égal, en pourcentage, à :

$$\frac{\text{Capitaux propres}}{\text{Capitaux étrangers}} \times 100$$

Les capitaux propres sont représentés, au passif, par le capital social et les réserves.

Ce ratio ne devrait pas être inférieur à 0,60, soit 60 %.

4. *Ratio de liquidité de l'actif (ou liquidité absolue)*.

Il s'exprime par le rapport :

$$\frac{\text{Actif circulant}}{\text{Actif total}}$$

Dans le poste « travaux en cours », il faudra soustraire tous les acomptes reçus des clients. Ne pas le faire serait gonfler, fictivement, l'actif circulant et l'actif total. Leur rapport en serait faussé.

Pour les entreprises ayant un stock-outil, il ne devrait pas, en principe, être compris dans l'actif circulant. Il représente, en effet, en valeur, une immobilisation au même titre que le matériel de l'entreprise. En saine administration financière, l'ensemble « Immobilisation et stock outil » devrait être couvert par les capitaux permanents de l'entreprise.

Bonne valeur de ce ratio : 65 %.

Si ce ratio baisse, dans le temps, c'est que l'actif tend à se cristalliser de plus en plus. Il faut alors voir si corrélativement parmi les ratios techniques, le ratio de main-d'œuvre a baissé, comme il aurait dû le faire, puisque la mécanisation de l'entreprise s'est accrue.

5. *Rotation du fonds de roulement économique*.

Il s'agit, en principe, de la rotation dans l'année. Le fonds de roulement, nous l'avons vu, c'est, pour l'entrepreneur, l'ACTIF CIRCULANT. Rotation par rapport à

quoi? Par rapport à l'élément caractéristique de l'activité de l'affaire : son chiffre d'affaires.

$$\frac{\text{Chiffre d'affaires annuel (ou semestriel)}}{\text{Actif circulant}}$$

Ce ratio mesure le dynamisme de l'entreprise, la vigueur avec laquelle on obtient, en même temps que des rentrées de fonds rapides, de larges crédits des fournisseurs, en un mot, l'habileté de manœuvre des fonds dont on dispose pour aboutir à une activité maximale et rémunératrice.

Il devrait être compris entre 3,3 et 4 et plus.

6. Ratio du fonds de roulement net.

Il procède au rapprochement par voie de rapport, et non plus soustractive, de l'actif circulant et de l'exigible à court terme. C'est le rapport :

$$\frac{\text{Actif circulant}}{\text{Exigible à court terme}} \times 100$$

Dans l'actif circulant, les stocks commerciaux qui sont facilement réalisables sont compris ainsi que les travaux en cours. Le stock-outil sera, en principe, exclus, si l'on veut être très prudent.

Dans l'exigible à court terme, les avances versées par les clients devront être comprises.

Valeur : 130 % et au-delà.

7. Rendement de l'exploitation.

Il est égal au pourcentage :

$$\frac{\text{Bénéfice d'exploitation}}{\text{Chiffre d'affaires (S. T. exclus et H. T. (1))}} \times 100$$

Le bénéfice d'exploitation est celui qui provient de l'exercice de la profession et pour les travaux exécutés directement par l'entreprise; il est issu du compte d'exploitation.

8. Ratio des résultats nets.

Il donne les résultats nets (impôts sur les bénéfices industriels et commerciaux déduits) pour l'ensemble de l'activité de l'affaire.

Le chiffre d'affaires est, ici, le chiffre d'affaires global, sous-traitants compris et taxes comprises.

Ce ratio s'exprime dès lors par :

$$\frac{\text{Résultats nets}}{\text{Chiffre d'affaires global}}$$

De nombreux autres ratios financiers pourraient être ajoutés à ceux dont on vient de parler.

Mais le mieux est le plus souvent l'ennemi du bien et il nous est apparu que, dans un exposé aussi austère que celui-ci, l'abondance nuirait à la clarté.

C'est pourquoi nous ne vous avons parlé que de huit ratios financiers.

CONCLUSION

Après vous avoir dit, plusieurs fois, qu'il fallait réduire le nombre des ratios à mettre en œuvre, je crains de vous en avoir, au cours de cette analyse, bien involontairement submergés.

Dans l'usage, seront-ils aussi nombreux? Certainement pas. Parmi eux, il en est qui n'apparaîtront qu'à grands intervalles de temps : ce sont les *statiques*, ceux de bilan en particulier, dont la connaissance n'entraîne pas, en général, d'intervention immédiate dans les actes de gestion cyclique. Ce sont des ratios calmes, qui nous parviendront aux dates d'établissement des bilans, c'est-à-dire tous les trois mois, si nous avons des bilans intermédiaires. Ceux-là, leur établissement ne gênera guère nos services; nos comptabilités les calculeront rapidement et au prix d'un très léger effort.

Les autres, les ratios *dynamiques*, particulièrement les ratios techniques, ceux qui dictent des décisions et des actes d'exécution, nous les avons, au cours de notre revue d'ensemble, rencontrés aux trois étages : des *déboursés secs*, des *déboursés totaux*, du *chiffre d'affaires*.

Pratiquement, nous nous placerons, le plus souvent, à un seul niveau et nous ferons choix d'un seul dénominateur. De la sorte, près des deux tiers de ces ratios disparaîtront, et il en restera un nombre que l'on pourrait tenir pour acceptable si l'on ne savait, d'expérience, qu'il se révélera encore trop lourd. Tel est, sûrement, l'avis du Président BALENCY-BEARN.

Comment, dès lors, en user pour aboutir à une solution pragmatique? Il faut, nous pensons, se référer à l'exemple de celles des entreprises qui, pénétrées dès longtemps de la valeur des ratios, ont commencé par n'en utiliser qu'un seul : le ratio du rendement de la main-d'œuvre; puis, successivement, deux, trois etc...

Pourquoi ne pas les imiter dans cette prise de contact progressive et expérimentale?

Il vous souvient de la réponse de ce naïf à qui l'on demandait : « Savez-vous jouer du piano? » et qui répondit : « Je l'ignore, je n'ai jamais essayé. »

Ce ne sera point naïveté de notre part que d'user des ratios, sans études préalables; nous découvrirons, à notre étonnement, que nous savons en jouer et que nous en tirons d'heureux effets.

Avec leur vertu de traduire, en termes simples, des résultats dont la présentation en valeur absolue est généralement rébarbative et touffue, ils appellent des rapprochements, des confrontations, des articulations, et, parfois, suscitent des inductions.

Oui, par leur valeur de simplicité, de clarté, d'efficacité, les ratios seront bien à leur place dans votre tableau de bord.

(1) S. T. = sous-traitant H. T. = hors taxes.

M. BALENCY-BÉARN. — Après avoir remercié M. Louis, je vais vous demander si vous avez des questions à poser?

DISCUSSION

M. PASQUET. — Dans les ratios financiers, il en est un dont vous n'avez pas parlé et qui est, peut-être, intéressant pour les banques : c'est le ratio de solvabilité.

M. LOUIS. — Je n'en ai pas parlé intentionnellement, parce que c'est un ratio dont l'effet va de soi.

Le ratio de solvabilité, c'est le rapport :

$$\frac{\text{ACTIF TOTAL}}{\text{FONDS ÉTRANGERS}}$$

On nous dit que ce ratio doit être supérieur à 1,00. Bien sûr Car s'il est égal à 1,00, cela signifie que les fonds propres (capital + réserves) ont disparu. Ne vous semble-t-il pas qu'un patron soucieux de la gestion de son affaire et suivant l'évolution de ses fonds propres avec vigilance (par exemple, par le ratio d'autonomie financière dont nous parlions tout à l'heure ou par la seule lecture du résultat de ses bilans) s'apercevra de l'amenuisement de son capital avant qu'il ait totalement disparu?

Qu'en pensez-vous M. GUINIER?

(M. GUINIER fait signe que oui).

M. PASQUET. — Tout à l'heure M. LOUIS nous a dit que le stock, particulièrement pour les entreprises du second œuvre, ne figurait pas dans l'actif circulant, mais dans les immobilisations. Or, il semble que ce stock soit un élément circulant de l'actif, au même titre que les sommes dues par l'entreprise ou celles qui lui sont dues. Alors, je ne vois pas pourquoi vous immobilisez ce stock.

M. LOUIS. — Financièrement, le stock-outil apparaît bien comme une immobilisation. Il ne peut être réalisé pour payer un passif à court terme car, par définition, il est absolument nécessaire à la bonne marche de l'entreprise. M. GUINIER voudra-t-il nous donner la vue des banques sur ce point?

M. GUINIER. — Les banques le considèrent comme du réalisable.

M. LOUIS. — Elles sont plus libérales que certains spécialistes.

M. GUINIER. — Oui, même dans le second œuvre.

M. PASQUET. — Les immobilisations, c'est, par exemple, du matériel qui, lui, reste toujours le même. Le stock du plombier renferme des appareils, des pièces de rechange qui se vendront et se renouvelleront.

M. P. BRICE. — Si je comprends bien, les stocks du plombier sont vendus systématiquement au chantier, c'est-à-dire aux clients.

M. J.-J. COULON. — Pour moi, le stock-outil fait partie de l'actif circulant parce qu'il circule constamment et qu'il est renouvelable.

M. LOUIS. — Physiquement, il n'y a pas identité; mais, financièrement, il y a des fonds qui dorment. Je crois que la question est de savoir dans quelle mesure la rotation du stock-outil est voisine de celle du fonds de roulement. Si le stock-outil se renouvelle suivant une périodicité égale ou proche de celle du fonds de roulement, il doit faire partie de l'actif circulant; mais s'il s'agit d'un stock dont la rotation est très lente, annuelle par exemple, il semble logique de l'écarter de l'actif circulant. Pour les installations de chantier, la même interrogation pourrait être posée. Comme

elles participent au cycle d'exploitation, elles représentent de l'actif circulant.

M. MASSENAT. — Sur le plan économique, la fraction d'amortissement annuel tombe dans le fonds de roulement et constitue un élément de l'actif circulant.

M. LOUIS. — C'est bien exact.

M. GUINIER. — Les immobilisations de chantier sont considérées comme du réalisable parce qu'elles sont faites pour des tiers et non pour soi. Elles sont incorporées dans les travaux en cours, donc dans le fonds de roulement.

M. PASQUET. — Un petit détail, en ce qui concerne la rotation de la main-d'œuvre. Lorsque vous établissez votre ratio, vous mettez en numérateur le nombre des ouvriers pointés sur le chantier et en dénominateur, l'effectif moyen. Cela donne un rapport dont la valeur est arbitraire. A mon avis, on devrait mettre, en dénominateur, l'effectif de pointe du chantier.

Voici, par exemple, un chantier où cent ouvriers ont été embauchés successivement et figurent à l'effectif de pointe si aucun d'eux n'a été remplacé. Vous trouverez, par mon calcul, un ratio égal à 1,00. Ce qui prouve que le chantier a fonctionné normalement. Alors que par votre calcul, vous trouverez un nombre arbitraire 2,5, 3 ou 3,80 par exemple, qui me semble n'avoir qu'une signification très relative.

M. LOUIS. — C'est un nombre répondant à la rotation de l'effectif. Ce calcul statistique est inattaquable. D'excellentes entreprises utilisent le procédé suivant : pour un chantier déterminé, chaque ouvrier entrant dans ce chantier reçoit, en dehors de son numéro matricule d'entreprise, un numéro d'entrée : 1, 2, 3, 4, 5, 6... jusqu'à 1500 par exemple. A un moment donné, l'effectif de croisière comporte 150 ouvriers. Ai-je le droit de dire que la

rotation de la main-d'œuvre a été de $\frac{1500}{150} = 10$. Certainement non, car, cette rotation n'est pas fonction directe de l'effectif d'un jour. Si, quelques jours après ce sondage, le nombre des ouvriers tombait à 75, la rotation $\left(\frac{1500}{75} = 20\right)$ aurait-elle doublé du fait du départ de 75 hommes?

M. BALENCY-BÉARN. — Je crois que le ratio de M. PASQUET est intéressant. Ce n'est pas un ratio de rotation, mais un ratio de stabilité.

Pour atteindre un effectif de 200 ouvriers, si le chef de chantier en a fait défiler 2 000, soit parce que certains étaient inaptes, soit parce que d'autres sont partis d'eux-mêmes; ce ratio donne tout de même une indication intéressante que le ratio de rotation ne fournit pas. C'est un ratio utile qui mesure la difficulté d'embauche, l'habileté du chef de chantier à apprécier ses hommes à l'embauche et à les conserver.

Compte tenu d'une conjoncture déterminée, combien faut-il embaucher d'ouvriers pour en obtenir 200 en pointe? Voilà le problème. C'est un renseignement intéressant pour les futurs devis parce qu'embaucher et débaucher des hommes, cela coûte très cher. Il y a là, pour l'établissement des devis, une donnée qui est, je crois, fondamentale.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

(Reproduction interdite)

SUPPLÉMENT AUX

ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

SEPTEMBRE 1960

Treizième Année, N° 153

Série : ESSAIS ET MESURES (48)

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 18 NOVEMBRE 1958

sous la présidence de **M. M. MARY**,
Contrôleur général de l'Équipement à l'Électricité de France

RECHERCHES RÉCENTES
SUR LE GEL DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION
ET LEURS CONSÉQUENCES PRATIQUES

par **M. R. BERTHIER**,
Directeur du Centre d'Études Scientifiques et Techniques de Grenoble,
Conseil Scientifique de l'Algérie

ASSOCIATION FRANÇAISE DES PONTS ET CHARPENTES
CHAMBRE SYNDICALE DES CONSTRUCTEURS EN CIMENT ARMÉ
INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

M. le Professeur Berthier est Directeur du Centre d'Études Scientifiques et Techniques à Grenoble. Son activité s'étend à des domaines très divers et il n'a cessé, depuis de nombreuses années, d'apporter entre autres un concours très efficace à la solution des problèmes multiples qui se présentent à l'occasion de l'équipement hydraulique de l'Algérie et des zones arides du sud Algérien.

Dans le domaine plus particulier des matériaux de construction, qui constitue l'un des principaux champs d'action de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, il a apporté beaucoup d'idées neuves qui devraient être autant de sujets de méditation pour les chercheurs et les ingénieurs.

M. Berthier ne se contente pas, comme beaucoup d'empiristes, de constater par des essais globaux les propriétés des divers matériaux utilisés dans la construction des ouvrages. Il recherche et approfondit le mécanisme des phénomènes avec le sens aigu d'un physicien averti. Il sait avec beaucoup d'ingéniosité monter les expériences cruciales simples qui permettent de confirmer ou d'infirmer les hypothèses qui lui servent de guide.

L'exposé qu'il va vous faire sur le mécanisme du gel va vous montrer d'une manière concrète le cheminement de sa pensée et les résultats précieux qu'il obtient en replaçant à leur base les éléments essentiels de ses recherches.

RÉSUMÉ

L'auteur traite tout d'abord du mécanisme proprement dit du gel et rappelle quelques principes généraux et l'utilisation d'un nouveau diagramme thermodynamique; puis il définit dans quelles conditions l'eau peut pénétrer dans un matériau, choisi inerte, ce qui le conduit à définir la porosité du matériau, à montrer l'existence des cavités internes et à parler des moyens actuellement employés en laboratoire pour mesurer cette porosité.

Ensuite les divers processus du gel sont expliqués. L'auteur examine le mode d'essai qui consiste à soumettre le matériau à différents cycles de gel et de dégel dans une ambiance humide, et décrit les phénomènes physiques observés, en cherchant surtout à définir en quoi le gel naturel peut différer des épreuves de gel au laboratoire.

Puis le cas des matériaux évolutifs comme le béton et le ciment est examiné, afin de définir en quoi ce cas diffère du cas des matériaux inertes.

Dans une deuxième partie, l'auteur cherche à montrer ce que le technicien peut tirer de ces recherches : tout d'abord l'utilisation des essais du gel comme révélateur de structure, puis pour des études et des épreuves normalisées sur le matériau, ces études permettant de tirer des conclusions sur les moyens d'améliorer les ciments et les bétons.

SUMMARY

The author deals first of all with the actual phenomenon of frost, and recalls a number of general principles and the use of a new thermodynamic diagram; he then defines under what conditions water can penetrate a material, chosen to be inert, which leads him to define the porosity of the material, to show the existence of internal cavities and to discuss the means currently used to measure this porosity.

The various processes of frost are then explained. The author examines the type of test which consists in subjecting the material to various cycles of frost and thaw in a moist environment, and describes the physical phenomena observed, being especially concerned with defining wherein natural frost may differ from frost tests in the laboratory.

Then the case of evolutive materials, like concrete and cement, is examined in order to define in what respects this case differs from that of inert materials.

In the second part of the paper the author attempts to show what the technician can obtain from such investigations : first of all, the use of frost tests for the disclosure of structures, then for standardized studies and tests of the material, from which conclusions may be drawn as to the means of improving cements and concretes.

EXPOSÉ DE M. R. BERTHIER

AVANT-PROPOS

Le but de cette conférence est de vous présenter l'état de nos réflexions sur le gel, sur la mécanique du gel, et de vous faire part de ce qui est utilisable dans ce que nous avons trouvé.

Je remercie d'abord les Directeurs d'Électricité de France et particulièrement M. Marcel Mary qui se sont intéressés à nos travaux et qui nous ont donné non seulement leur appui matériel mais encore ce qui est bien plus précieux, leur appui moral et l'appui de leur très grande expérience dans le domaine de la construction.

Je diviserai mon exposé en trois parties.

Dans une première partie je rappellerai les principes théoriques de la mécanique du gel en rappelant et en développant un peu ce que j'ai déjà dit l'année dernière au *Colloque International du Gel*.

Dans une deuxième partie je traiterai un certain nombre de questions expérimentales et pratiques.

Dans la troisième partie je tirerai des conclusions générales à l'usage des techniciens.

PREMIÈRE PARTIE

LES FAITS ESSENTIELS
DE LA MÉCANIQUE DU GEL

J'ai déjà traité ce sujet l'année dernière, ici même, lors du Colloque International du Gel. Je vous rappellerai seulement les faits fondamentaux.

— L'eau se transforme en glace, à la pression atmosphérique normale, avec une expansion en volume de 9 %, c'est-à-dire une expansion linéaire de l'ordre de 3 % ce qui est évidemment considérable.

— La transformation dans le sens eau → glace dégage une quantité de chaleur très grande, de l'ordre de 80 kilocalories par kilogramme d'eau. Bien entendu la transformation inverse glace → eau absorbe la même quantité de chaleur. Tout cela s'entend à pression constante.

— Dans la mécanique du gel intervient la pression. Vous savez tous que si l'eau enfermée dans un volume limité vient à geler, l'expansion de la glace produit une pression dans ce volume. Cette pression cause des contraintes dans les parois et les parois peuvent être déchirées. Mais les choses ne sont pas si simples : quand la pression augmente, la température de fusion, le « point de fusion » s'abaisse. On ne sait donc plus très bien à l'avance ce qui se passera : si le récipient où se produit la glace est très élastique, la glace se produira à une température un peu inférieure à 0°, et si ce récipient est inextensible, l'eau ne pourra se transformer entièrement en glace quel que soit l'abaissement de température.

Pour analyser chaque cas les deux données précédemment énoncées ne sont pas suffisantes, il faut ajouter la loi de variation du point de fusion avec la pression. C'est le diagramme de Bridgman (fig. 1) dont la seule partie utile dans l'étude du gel est le domaine limité par la courbe de A en B c'est-à-dire la surface OABD. On voit sur le diagramme le domaine de l'eau, le domaine de la glace et le long de la ligne AB assez voisine d'une droite on a tous les mélanges possibles d'eau et de glace.

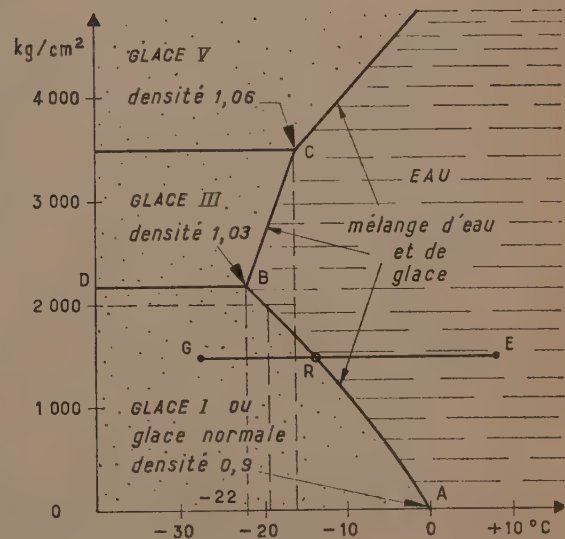


FIG. 1.

Je reproduis ici (fig. 2) mon diagramme à trois dimensions p, v, t , montrant comment on fait apparaître les mélanges d'eau et de glace.

AB est la ligne de Bridgman dans le plan p, t . On l'assimile ici à une droite. L'axe des volumes est normal au plan p, t . On convient de prendre en A un volume d'eau unité et les valeurs de ce volume (à l'état d'eau ou de glace) sont portées dans la direction v . Nous supposons

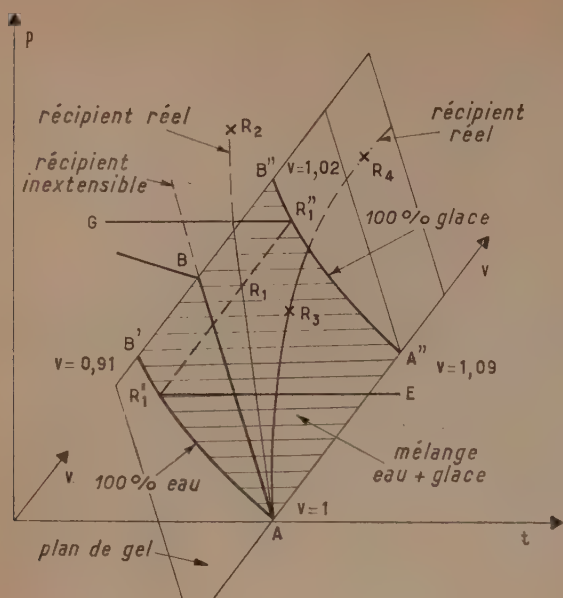


FIG. 2.

d'abord que nous pouvons faire varier à volonté les trois variables.

Par AB on fait passer un plan parallèle à v et on l'appelle le *plan de gel*. Si au point A ($t = 0^\circ$ et pression nulle) l'eau gèle, le point figuratif vient en A'' ($p = 0$ $v = 1,09$). Si nous augmentons alors la pression de zéro jusqu'à la pression du point B en soutirant le moins possible de calories de façon à ce que l'eau reste entièrement liquide, nous décrivons la courbe limite AB' voisine d'une droite. De même si on part du point A'' en soutirant assez de calories pour que la glace ne fonde pas, on parcourt la courbe limite $A''B''$. La zone hachurée contient tous les mélanges possibles d'eau et de glace.

Si R_1 est un point figuratif quelconque dans le plan de gel, et si on trace la droite horizontale $R_1 R_1'$ parallèle à AA'' , la proportion d'eau et de glace est déterminée par le rapport $\frac{\text{eau}}{\text{glace}} = \frac{R_1 R_1''}{R_1 R_1'}$, le segment $R_1 R_1'$ mesurant la glace dans le mélange en équilibre au point R_1 .

L'usage de ce diagramme est fondamental pour répondre à la plupart des problèmes que pose le gel dans la pratique.

Premier exemple : comment passe-t-on du point figuratif E (fig. 1) au point G à pression constante?

La réponse est transcrite sur la figure 2. On passe d'abord de E en R_1' , puis dans le plan de gel de R_1' à R_1'' , en soutirant la quantité de chaleur nécessaire pour solidifier toute l'eau, puis on passe de R_1'' à G. On voit que ce trajet en zig-zag n'est vu qu'en projection sur la figure 1; la transition n'est compréhensible que si on la dessine dans l'espace au moyen de l'axe des volumes.

Cet exemple d'apparence simple est purement théorique, parce que dans la pratique les variables ne sont pas indépendantes. Le cas pratique le plus usuel est le suivant : l'eau remplit exactement un récipient solide et fermé, plus ou moins extensible. On refroidit le tout et on demande ce qui va arriver.

Considérons le plan de gel dans la figure 2.

Le récipient a une caractéristique intrinsèque qui est son volume en fonction de sa pression interne. Un réci-

pient inextensible est représenté par AB. Un récipient extensible est représenté par $AR_1 AR_2$ ou $AR_3 AR_4$ etc...

Sur ces courbes on aura en général une partie élastique réversible AR_1, AR_3 , etc... puis une partie élasto-plastique $R_1 R_2$ ou $R_3 R_4$, où R_2 ou R_4 seront les points d'éclatement du récipient.

Remplissons exactement d'eau le récipient et abaissons la température en soutirant des calories. Nous partons du point A et comme la pression interne est due à la transformation de l'eau en glace, nous parcourons la courbe intrinsèque, et à chaque instant nous connaissons la proportion de glace et d'eau dans le récipient d'après la construction précédemment indiquée.

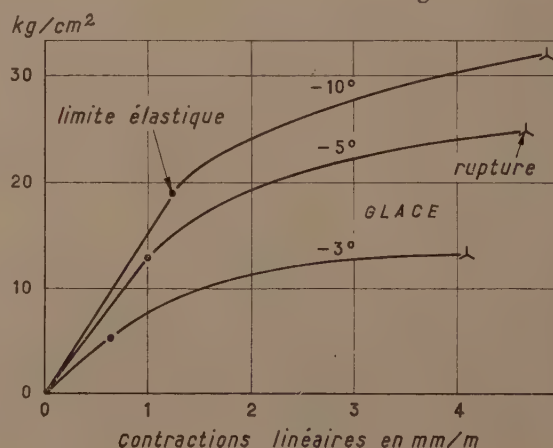
Le récipient ne sera plein de glace que si la courbe AR atteint la courbe limite $A''B''$ dite « 100 % de glace ». Plusieurs cas sont possibles. Si le récipient est complètement inextensible (courbe AB) et increvable, l'eau ne gèlera jamais complètement. Si la courbe est disposée comme $AR_1 R_2$ il en sera de même, si toutefois le point d'éclatement est en dehors de la zone hachurée. Si la courbe est disposée comme $AR_3 R_4$, toute l'eau sera gelée au point de l'intersection avec $A''B''$, si toutefois le point d'éclatement n'est pas compris dans la zone hachurée. La courbe représentant un récipient aura d'autant plus de probabilité de rencontrer $A''B''$ que la température sera plus basse, et donc en général un froid rigoureux produira des dégâts plus grands qu'un froid limité au voisinage de zéro.

De toutes façons les tronçons de courbes situées en dehors de la zone hachurée ne représentent que des états virtuels : quand toute l'eau est gelée, la pression cesse de croître dans le récipient, l'effet du gel est accompli, la pression interne ne peut augmenter, ni dépasser en tout cas 2 200 kg/cm^2 .

Nous n'abordons pas l'étude des transformations en glace III, en glace V, etc... qui sont tout à fait en dehors des cas pratiquement possibles.

Ajoutons encore un mot sur les caractéristiques mécaniques de la glace. La glace est un solide relativement peu résistant, au sens des matériaux de construction et la figure 3 est à ce sujet assez éloquent. La glace est un solide très plastique et d'autant plus plastique que la température est voisine de celle de son point de fusion. Ceci est d'autant plus important que les phénomènes de gel sont des processus nécessairement lents, en raison de la grandeur de l'énergie de changement d'état et de la faible conductibilité des matériaux gélifs. Dans la plupart

FIG. 3. — Courbes de charge.



des cas, les *contraintes* subies ou transmises par la glace se transformeront rapidement en *pressions*, ce qui donne d'ailleurs toute leur valeur aux diagrammes que nous avons étudiés précédemment et dans lesquels on raisonne sur des pressions.

En général la *forme* des cavités où la glace pourra se former n'interviendra que peu. De même si ces cavités ne sont pas bien fermées, la glace sera facilement *extrudée*

hors de ces cavités par les plus petites fissures. S'il s'agit de cavités remplies partiellement d'eau et d'air, la glace en se formant comprimera l'air, mais la pression finale sera très inférieure à ce qu'elle eût été en l'absence d'air.

Voilà à peu près ce qu'il est absolument nécessaire de rappeler sur la physique proprement dite du gel. Nous allons maintenant aborder la deuxième partie de notre exposé.

DEUXIÈME PARTIE

EXPÉRIMENTATION SUR LE GEL

Tout d'abord nous sommes arrivés à la règle suivante : il faut étudier en premier lieu le gel sur des matériaux inertes, pierre, brique, etc... et ensuite seulement sur les matériaux évolutifs, ciment, béton, etc... La raison de cette règle est que les matériaux évolutifs apportent des paramètres supplémentaires qui compliquent et modifient le tableau de la situation. Aussi un grand nombre d'études fondamentales que nous citerons ont-elles été faites sur matériaux inertes, nous traiterons en dernier lieu du cas des ciments et bétons.

D'autre part la remarque suivante nous a guidé dans nos études :

Nous cherchons bien entendu à identifier les divers processus qui causent les destructions par le gel, mais aussi à préciser dans quelles conditions ces processus sont réalisés dans les conditions réelles de vie des matériaux. La gélivité réelle est toujours un phénomène très aléatoire et la gélivité naturelle moyenne plus faible que dans les essais de laboratoire. On se trouve souvent en présence d'une espèce de paradoxe. Par exemple un matériau poreux, bien imbibé d'eau, de résistance mécanique médiocre devrait, si l'on se rapporte aux diagrammes théoriques, être réduit en poussière après quelques cycles de gel et même au premier gel, alors que dans la réalité, il se comporte honorablement, sauf dans des cas considérés comme accidentels. Nous cherchons donc à identifier les causes qui limitent pratiquement la gélivité, car c'est tout aussi important que d'identifier le mécanisme du gel intégral. Alors la gélivité sera parfaitement connue comme *phénomène aléatoire*, comme un *risque*, dont on pourra définir les cas les plus favorables et les cas les plus défavorables, le risque minimal et le risque maximal.

Porosité et gélivité

Les matériaux de construction ont une certaine porosité et même souvent une porosité très importante, plus importante qu'on ne le croit communément. Une brique même compacte a souvent une porosité supérieure à 10%. Il n'est pas rare de trouver des pierres très solides ayant des porosités du même ordre. Quant au béton, dès que l'eau excédentaire a disparu, sa porosité est également très notable.

Les pores isolés c'est-à-dire rigoureusement fermés ne jouent évidemment aucun rôle dans la gélivité, mais ce type de pore est rare. En général on a tout un réseau de canalicules et microfissures et des petites cavités communiquant avec ce réseau (fig. 4).

Supposons que cette matière soit d'abord sèche et que nous trempions l'échantillon dans l'eau, que va-t-il arriver ? On sait bien qu'il y aura un effet d'aspiration capillaire

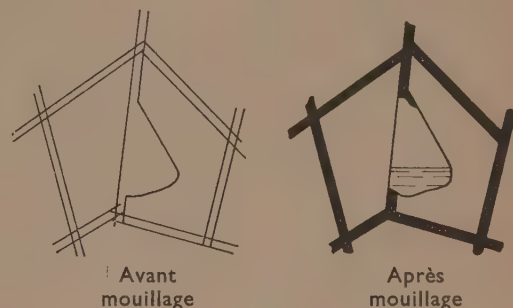


FIG. 4.

qui tendra à remplir les pores et canaux, la charge hydraulique ne jouant qu'un rôle secondaire. La théorie ne dit rien de précis sur la *vitesse* de remplissage des pores. La force capillaire d'aspiration est plus grande dans les interstices étroits, mais le frottement y est également plus grand. Il vaut mieux faire l'expérience. On observe facilement le phénomène en coupant un échantillon en deux, en rodant à plat une moitié et en posant sur le rodage un couvercle de microscope légèrement siliconé pour éviter qu'il ne joue lui-même un rôle dans le phénomène capillaire. On dépose une goutte d'eau fortement colorée ou en suspension colloïdale sur le bord de la lame. On voit au microscope ce qui est représenté sur la figure 4 : les vitesses de propagation de l'eau sont extrêmement variables suivant les trajets, et les cavités trop larges sont encerclées par l'eau progressant dans les canaux plus fins et elles sont mal remplies. *Tout se passe alors comme si ces pores étaient devenus rigoureusement étanches dans une matière imperméable*, et dans l'ensemble de l'échantillon il y a une certaine proportion de pores non remplis que l'on peut mesurer par pesée. Cette proportion se retrouve identique chaque fois qu'on refait l'expérience. C'est une grandeur caractéristique de l'échantillon si on normalise les conditions expérimentales, par exemple une immersion partielle. On peut l'appeler la porosité réservée. La porosité réservée est une fraction de la porosité totale. Elle peut s'exprimer comme la porosité totale en fraction du volume de l'échantillon. La porosité réservée est fonction de la disposition des interstices. Nous étudions ses relations avec la porosité graduée telle qu'on la mesure par la méthode du remplissage au mercure sous pression.

La porosité réservée est très utile pour diminuer la gélivité d'un matériau, car les pores non remplis jouent le rôle de vases d'expansion pour la glace, si l'on veut bien se rappeler ce que j'ai dit précédemment sur la plasticité de la glace.

Bien entendu cette situation est précaire car l'air emprisonné par de l'eau finit toujours par s'en aller, en général par dissolution progressive, surtout s'il y a une lente circulation d'eau. C'est le même mécanisme qui fait qu'une bouée, qu'un morceau de bois qu'on met dans l'eau de mer finit, non par sombrer, mais par perdre toute force portante. C'est ce qui est arrivé au radeau du brave Eric Bishop qui perdit toute force portante après être resté trop longtemps en mer : il arrive un moment où le morceau de bois et même de liège n'a plus que sa densité absolue pour le faire flotter, et non sa densité apparente, mais la densité absolue est très peu différente de celle de l'eau.

Ainsi la protection contre le gel que donne une porosité réservée est très précaire. De plus, elle est aléatoire, et ce caractère aléatoire explique bien des contradictions dans les estimations pratiques de la gélivité de certains matériaux en conditions de gel naturel. Ces faits inspirent une réflexion qui reviendra à propos d'autres facteurs de gélivité : puisque le facteur porosité réservée introduit dans la gélivité naturelle une dispersion énorme, d'une part il faudrait tâcher de normaliser des expériences de gel artificiel, et d'autre part ce gel artificiel risque d'être beaucoup plus dur que le gel naturel.

Alors il faut prendre une fourchette : d'une part on fera des essais de gel sur échantillons imbibés par simple immersion, ce qui donnera la gélivité minimale, et d'autre part on imbibera aussi bien que possible, ce qui éliminera l'effet bienfaisant de la porosité réservée et représentera les conditions les plus dures qui peuvent se présenter. Dans la réalité, avec le gel naturel, on se trouvera entre les deux cas, dans une position à évaluer au mieux.

Ces faits m'amènent à dire quelques mots des procédés d'imbibition que l'on peut utiliser pour les mesures de porosité et pour la préparation au gel artificiel.

La méthode classique et qui fut réglementaire pour imbiber à cœur un matériau poreux consiste à le maintenir dans de l'eau bouillante. Le mécanisme invoqué est l'expulsion progressive de l'air occlus par la vapeur d'eau. Outre que c'est une opération désagréable et qui modifie certains matériaux, il s'en faut qu'elle soit toujours satisfaisante, il vaut bien mieux recourir à l'imbibition sous vide. A première vue cela a l'air tout simple : on immerge l'échantillon dans de l'eau contenue dans un vase ouvert que l'on place dans une cloche à vide. L'air est aspiré par la pompe à vide, puis on ferme la vanne de la pompe et on casse le vide c'est-à-dire qu'on fait rentrer l'air à la pression atmosphérique dans la cloche, les vides de l'échantillon se remplissent d'eau puisqu'il n'y a plus d'air pour s'opposer à la pénétration de l'eau. En réalité les choses ne sont pas aussi simples. D'abord il ne faut pas utiliser une pompe mécanique à huile, capable de faire un vide inférieur à 1/100 mm de mercure, pour faire le vide sur de l'eau : de toute façon le vide sera limité à la tension de vapeur actuelle de l'eau, disons 15 mm de mercure, et d'autre part la vapeur d'eau altérera l'huile et la pompe. Le mieux est d'utiliser simplement une bonne *trompe à eau*, sous la seule condition que l'eau d'alimentation de la trompe soit *beaucoup plus froide* que l'eau que l'on met sous la cloche. Au besoin on tiédira cette dernière. Alors le vide limite de la trompe correspondra à la tension de l'eau froide, par exemple 10 mm, tandis que l'eau de la cloche se vaporisera sous 20 ou 30 mm. Ensuite il ne faut pas immerger l'échantillon et faire ensuite le vide, car certaines parties de l'échantillon seront soumises à une pression (hydrostatique) de plusieurs centimètres d'eau et la pression totale sera souvent bien supérieure à la tension de l'eau, et le traitement sera

inefficace. La seule technique rationnelle consiste à placer l'échantillon sec dans une cuve à eau placée dans la cloche à vide, mais la cuve à eau étant *sans eau*, et faire le vide un certain temps pour bien dessécher la matière, puis remplir très *progressivement* la cuve à eau au moyen d'un robinet, sans cesser le vide, et l'eau de remplissage étant d'environ 10°C plus chaude que l'eau de la trompe. Alors l'imbibition de l'échantillon se fait progressivement et complètement, quand il est tout à fait immergé on casse le vide et on le laisse dans l'eau sous pression normale pendant une dizaine de minutes. On emploiera donc de préférence cette méthode quand on voudra une imbibition parfaite, et la méthode se prête aussi à réaliser une imbibition limitée et contrôlée. On pourra l'employer pour préparer les épreuves de gel.

Cycles parfaits et cycles imparfaits

Je définirai d'abord des cycles parfaits de gel sur un cas théorique et simple. Nous considérons une cavité fermée et étanche après son remplissage exact avec de l'eau. On soumet au gel l'échantillon qui enferme cette cavité. D'après le diagramme de gel exposé en première partie, la cavité subira une certaine extension par suite de la formation d'un mélange d'eau et de glace. Si cette extension est parfaitement élastique et réversible, le système reviendra à l'état initial au dégel, et un cycle de gel aura été parcouru sans aucun dégât. On pourra faire une succession de cycles, avec le même résultat négatif.

Dans la réalité un tel processus n'est en général pas réalisable. D'abord la cavité ne peut être à la fois fermée, étanche et pleine d'eau, car il a bien fallu la remplir. Cet état exceptionnel ne peut se rencontrer que dans des bétons de bonne qualité, conservés dans l'eau, car il y a toujours une forte proportion d'eau excédentaire à la coulée par rapport à l'eau engagée dans les réactions d'hydratation. Je reprendrai ce cas plus loin quand je parlerai du gel des bétons.

De plus l'extension de la cavité est rarement élastique et réversible : il y a toujours une petite déformation permanente.

Dans un cycle réel, donc, pendant la phase de gel une partie de l'eau et même de la glace de la cavité est expulsée par les chemins par lesquels cette cavité s'est remplie. Si l'on veut réaliser un cycle de gel parfait, il faut pendant la phase de dégel remplir à nouveau la cavité, au moins aussi bien que la première fois.

Au point de vue des épreuves de gel en laboratoire ceci condamne les procédés de dégel à l'air, il faut dégeler par immersion dans l'eau si on veut avoir quelque chance d'avoir des cycles parfaits. Alors, sous réserve d'effets secondaires tels que perte d'eau par distillation, présence de bulles d'air, les cavités se rempliront à nouveau pendant le dégel et si leurs parois ne sont pas parfaitement élastiques, elles se distendront un peu plus à chaque cycle et la répétition indéfinie de ces cycles parfaits amènera la destruction du matériau.

D'ailleurs on observe, avec la chute progressive de résistance mécanique, un gonflement général qui traduit l'absorption croissante d'eau à chaque dégel. La technique du dégel à besoin d'être précisée. Il arrive que les échantillons gelés à basse température fassent geler l'eau du bac à dégel. Le mieux est de faire passer l'eau de refroidissement du groupe frigorifique dans un échangeur qui réchauffe un peu le bac à dégel, on arrive assez bien à obtenir une température constante et à dégelier complètement et assez rapidement les éprouvettes, sans dépense supplémentaire.

Dans le processus naturel du gel et même dans des expériences de laboratoire on a souvent des cycles imparfaits.

Un cycle imparfait est celui où, pour certaines raisons parfois difficiles à identifier, l'augmentation permanente de volume des cavités réalisée pendant la phase de gel n'est pas remplie d'eau à la phase de dégel consécutive, et bien entendu le cycle sera encore plus imparfait si ces cavités perdent un peu d'eau à chaque cycle. Un exemple de cycle imparfait est un dégel dans l'air, ou un dégel incomplet dans l'eau, ou des gels et dégels trop rapides sur un échantillon à imbibition difficile (faible perméabilité). Dans tous ces cas, le premier cycle seul produit une certaine expansion, les cycles suivants n'ajoutent aucune expansion supplémentaire : aussi nombreux qu'ils soient, on n'a jamais fait qu'un seul cycle utile : le premier. Une image simple, illustre ce fait : un vérin a une course de travail limitée pour déplacer sur le sol un massif de construction. Si on veut déplacer davantage il faut faire revenir en arrière la tige du vérin et caler le vérin pour obtenir une nouvelle course utile.

C'est l'imperfection des cycles de gel qui est la raison la plus fréquente du caractère aléatoire et limité de la gélivité.

Extrusion de la glace

J'ai signalé dans la première partie la plasticité de la glace pas trop froide. Voici une expérience simple qui met en évidence l'extrusion de la glace pendant le gel, extrusion qui résulte directement de cette plasticité (fig. 5).

On prend une cuve remplie d'huile incongelable, huile de paraffine ou de silicone. On la refroidit à -20° . On y plonge alors un échantillon, par exemple un morceau de brique parfaitement bien imbibé sous vide, mais à surface bien essuyée. On s'est arrangé pour qu'il y ait un grand volume d'huile par rapport au volume de l'échantillon, un volume suffisant en tout cas pour que le gel complet de l'échantillon mouillé ne fasse pas remonter la température au-dessus de quelques degrés négatifs. Par précaution on met le tout au frigorifique. Ces précautions sont prises pour éviter tout exsudation d'eau : si de la glace sort de l'échantillon, elle était déjà formée dedans.

Or voici ce que l'on trouve après l'opération (fig. 5). L'échantillon est recouvert d'une carapace de glace continue, dont la section a la forme indiquée : beaucoup plus épaisse vers le milieu des faces. Cette carapace peut

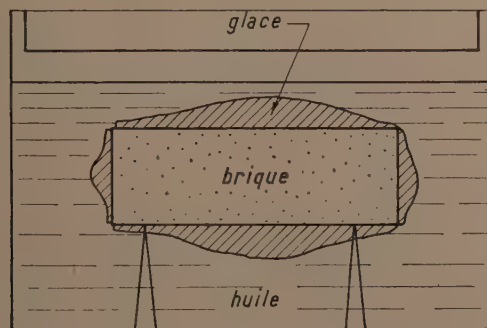


FIG. 5. — Extrusion de la glace.

être facilement essuyée de l'huile qui la recouvre, grattée et pesée, car elle est alors très froide et très dure. Cela réussit en particulier de façon spectaculaire avec une brique très poreuse et très peu solide (briques pour isolement de fours). Une telle brique a une résistance banale de l'ordre de 20 kg/cm^2 , c'est un très mauvais matériau de construction, il semblerait qu'elle dût être pulvérisée au premier cycle de gel. Eh bien, pas du tout, elle apparaît dans cette expérience comme non gélive, et le poids de glace de sa carapace, grattée après expérience, est exactement le volume que l'on pouvait calculer pour l'expansion de changement d'état de l'eau d'imbibition. Ainsi ce solide peu solide s'est très bien défendu, la glace s'est extrudée très facilement et finalement il n'a subi qu'une faible contrainte et une faible perte de résistance.

Ce phénomène d'extrusion s'observe toujours dans le gel naturel. Une roche humide mais non mouillée peut sur un coup de gel prendre l'aspect verglacé caractéristique de l'extrusion. Il se produit aussi au laboratoire et on le voit pour peu que l'on prenne la précaution d'essuyer les éprouvettes dégelées avant de les regeler. Bien entendu il est exceptionnel que la glace sorte aussi facilement du matériau que dans l'expérience citée. Il y faut une disposition favorable des pores, il faut un échantillon pas trop gros, mais enfin il y a là une réaction naturelle de défense contre le gel qui est encore un phénomène limitateur de la gélivité et aussi un phénomène aléatoire.

Distillation.

Il y a longtemps que j'avais attiré l'attention sur ce phénomène, mais mes idées ont un peu changé à son sujet. C'est un phénomène assez important, mais d'après mes premières expériences je le croyais dangereux dans certains cas. Je crois maintenant qu'il est au contraire toujours favorable et concourt à limiter pratiquement la gélivité.

Ce processus est très simple : la tension de vapeur de l'eau diminue très vite avec la température. En gros quand on passe de $+10^{\circ}$ à 0° puis à -10° , cette tension passe de 2 mm à 0,5 mm puis à 0,1 mm. L'eau tendra donc à distiller des parties les plus chaudes vers les parties les plus froides, en dehors comme en dedans des matériaux.

Un matériau imbibé d'eau, gelé ou non, perdra de l'eau par distillation si la température extérieure est plus basse.

Autrement dit, pendant la phase de gel, le matériau perd une partie de l'eau qui pourrait le faire éclater si on ne l'enlevait pas. C'est exactement ce qui se passe dans votre réfrigérateur domestique : tous les aliments distillent et la paroi réfrigérante se couvre de glace, il faut de temps en temps une phase de dégel pour tout dégivrer.

Dans les épreuves de gel artificiel c'est la même chose : l'éprouvette que vous avez mise bien mouillée dans le frigorifique avant d'être congelée perd, au moins superficiellement, de l'eau par distillation. Dans tous les cas, la dessiccation des couches superficielles est favorable. Quand le matériau sera plus froid que l'air extérieur, il tendra certes à récupérer de la glace, mais, ce faisant, il se réchauffe et d'ailleurs cette glace ne produit alors aucune expansion. Il peut tout au plus se réimbiber d'eau et le seul cas dangereux est alors celui où dans cette phase de réimbibition il y a un nouveau coup de froid.

Influence de la grandeur absolue des échantillons soumis au gel.

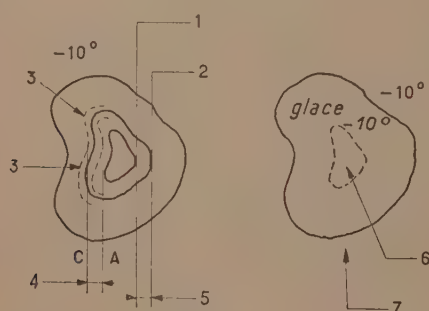
Cette question est connexe de celle de l'action du gel en profondeur. Contrairement à ce que l'on pourrait croire, ce ne sont pas forcément les plus gros échantillons ni les plus petits qui souffrent le plus du gel, ce sont les échantillons moyens. Les échantillons les plus petits souffrent peu parce que la glace est immédiatement extrudée, ou alors il s'agit d'échantillons déjà très fissurés et sans résistance.

Dans le cas de très gros échantillons, la partie superficielle résistera par le fait de la distillation, de l'extrusion, etc... Les contraintes et fissures dont peut souffrir la partie superficielle proviennent en réalité des parties plus profondes. Dans les parties très profondes, les cavités sont frettées en quelque sorte lors de leur expansion par toute l'épaisseur de la matière. Il y a bien entendu une contrainte limite, en général assez élevée. De plus dans le gel naturel ces parties profondes sont en général mal imbibées d'eau et les cycles de gel sont imparfaits.

Si l'on considère des échantillons moyens de l'ordre du décimètre, ou des profondeurs du même ordre à partir d'une paroi, on constate en général une gélivité maximale, toutes choses égales d'ailleurs.

On peut analyser la formation des pressions et des contraintes comme suit (fig. 6 et 7) et suivre sur le diagramme de gel (fig. 2).

La figure représente une éprouvette de forme quelconque. Je vais supposer d'abord pour éclairer la question qu'il n'y ait pas de dépendance entre la pression et la température de changement d'état, ce qui est réalisé dans un échantillon infiniment mou, sans résistance élastique. L'éprouvette est dans un milieu froid, par exemple à -10° et ce milieu lui soutire progressivement des calories, jusqu'à ce que la température soit uniformément -10° partout (état final). A un moment quelconque de cette phase de gel, il y a dans l'échantillon une température variée : il y a quelque part une surface isotherme double à 0° , une surface 0° eau ou début de solidification et une surface 0° glace ou fin de solidification, ces deux surfaces comprennent entre elles la frange isothermique et dans cette frange on a un mélange



- 1 — Isotherme 0° eau
- 2 — Isotherme 0° glace
- 3 — Direction de propagation des isothermes
- 4 — Frange de congélation sous pression interne — mélange glace + eau.
- 5 — Frange isotherme 0° sans pression interne — mélange glace + eau.
- 6 — Glace et eau — 10° sous pression
- 7 — État final

FIG. 6 et 7.

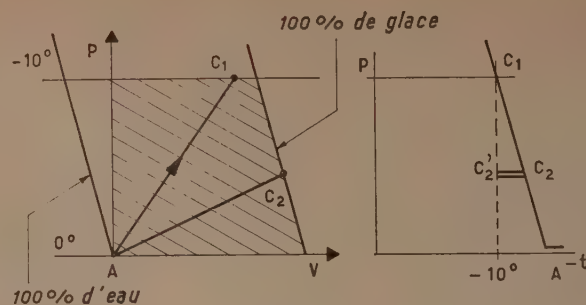


FIG. 8.

à proportion variée d'eau et de glace. La frange isothermique se propage de la surface vers l'intérieur jusqu'à ce que tout soit gelé. Ensuite la température s'uniformise progressivement à -10° ; ceci est donc un cas limite. Dans la réalité la matière a une certaine résistance plus ou moins élastique, et le changement d'état produira partout nécessairement à une température inférieure à 0° , l'état final étant un état de température constante à -10° et de pression variée.

A chaque instant pendant la phase de gel, il existera quelque part une frange de congélation contenant des mélanges variés d'eau et de glace, mais cette frange de congélation s'établira à une température T variable comprise entre -10° et 0° , et la pression variable (dans le temps) aura aussi dans cette frange une valeur en général variée (dans l'espace). Cette frange sera en retard par rapport à la frange que nous avons précédemment décrite, autrement dit la propagation du gel se fera d'autant plus tardivement que la matière sera plus dure. Sur le diagramme du plan de gel (fig. 8) le point figuratif de l'état d'un point fixe du corps passera par exemple de A à C au moment où la frange passera devant lui. Suivant les circonstances et les paramètres élastiques, ce point C pourra être diversement placé, mais en général il correspondra à la présence définitive dans les cavités d'un mélange d'eau et de glace en équilibre de température et de pression, et il semble que dans certains cas il se forme peu de glace. On peut avoir en effet tantôt un trajet comme AC_1 , tantôt comme AC_2 C'_2 .

On peut vérifier ces processus du gel par mesures calorimétriques qui permettent de connaître la proportion d'eau et de glace, et par des mesures thermométriques avec des microcouples qui voient passer la frange de congélation. Les résultats ne sont pas toujours simples à interpréter, il faut tenir compte de diverses choses, en particulier l'état capillaire qui introduit une énergie de liaison. A première vue l'eau en se congelant perd ses propriétés capillaires et libère l'énergie de liaison, mais la glace colle à beaucoup de roches et cela représente une autre sorte d'énergie de liaison. Tout cela est étudié dans notre programme général de recherches sur la Physique de l'eau.

Choc de congélation retardée

On entend souvent invoquer un phénomène de déclenchement brusque de contraintes, d'un véritable choc, quand un retard fortuit s'est produit dans la congélation, et au moment où ce retard cesse. On tient en somme le raisonnement suivant :

Les phénomènes de retard à la congélation sont bien connus; supposons que de l'eau enfermée dans une cavité

close soit dans un tel état, si cet état cesse subitement, cela fera une mise en contrainte brutale des parois au lieu d'une extension progressive, ce qui peut être très dangereux.

Il est facile de montrer que ce choc n'est pas possible.

Supposons d'abord un faible retard. Considérons une enceinte fermée, remplie d'eau non congelée à -1°C . Pour transformer subitement cette eau en glace, il faut évacuer 80 calories par gramme. Or on a déjà évacué actuellement 1 calorie, il reste à en évacuer subitement 79 et comme la glace formée ne peut dépasser 0°C , c'est seulement $1/80$ du volume qui peut geler, et même moins si on tient compte de l'augmentation de pression. Naturellement la congélation progressive suivra, dans la mesure où les parois seront capables de laisser évacuer les calories du changement d'état.

Ce choc de retard ne pourrait se produire réellement que si on pouvait avoir un retard à la congélation de 80°C au moins, mais pratiquement dans les cas usuels les retards ne dépassent pas quelques fractions de degrés.

Néanmoins une observation attentive montre qu'il y a effectivement sans cesse dans l'eau en train de geler une fluctuation incessante de la solidification, accompagnée d'un bruit particulier. Cela est observable en général dans toutes les solidifications, en particulier dans la solidification de l'aluminium : la solidification paraît se faire brusquement par petits domaines cristallins entiers et finis, et non par un processus parfaitement continu. Cela est aussi général pour les changements d'état cristallin.

Cas des matériaux évolutifs : ciments et bétons

Si maintenant nous quittons les matériaux inertes pour considérer les ciments et bétons, quelles retouches plus ou moins importantes devons-nous apporter au tableau que nous venons de brosser ?

En ce qui concerne la gélivité limitée des cycles imparfaits, ces matériaux apportent un cas tout à fait usuel, et nous l'avons appelé *la gélivité intrinsèque* : supposons qu'il n'y ait pas de cavités à remplir, mais seulement de l'eau excédentaire. Nous réalisons cela en faisant un béton de petits éléments en évitant l'occlusion d'air ou en dégazant.

Le béton fait prise, nous le conservons dans l'eau ou en atmosphère saturée, et après un certain durcissement une partie de l'eau est fixée sous forme d'hydrates divers, mais il reste une grande proportion d'eau excédentaire non fixée, jusqu'à 40 % du poids du ciment. Or, cette eau n'apporte aucune gélivité.

On fait l'expérience de la façon suivante; on coule le béton dans une boîte cubique de plastique tel que polyéthylène, dont les parois très extensibles et étanches ne peuvent troubler les phénomènes.

On remplit exactement et on met un couvercle étanche pour éviter tout échange. On fait ainsi plusieurs éprouvettes. On met au gel et de temps en temps, après des nombres variés de cycles de gel, on fait une épreuve mécanique sur une éprouvette extraite du lot et on compare à un témoin suivant la technique habituelle. On constate qu'il ne se passe rien en général, tout au moins pour les proportions usuelles d'eau excédentaire. Nous sommes bien dans le cas précédemment considéré : nous avons beau faire beaucoup de cycles, il n'y en a qu'un seul d'utile, et si le matériau n'est pas dégradé dès le début des épreuves il y a bien des chances qu'il ne se passe plus rien ensuite, autrement dit : la gélivité intrinsèque est nulle.

En réalité, c'est peut-être le seul cas où il est possible, où il est commode de faire l'expérience, parce qu'on peut couler dans une boîte. Quand on ne peut pas couler dans une boîte, quand on ne peut pas remplir le récipient avec l'échantillon, c'est plus difficile à réussir parce qu'il y a des phénomènes d'exsudation, de distillation. Mais il y a des astuces pour obliger l'eau à réimbiber l'échantillon à chaque fois.

Ce résultat peut être attribué probablement au fait que le ciment, le béton, ont une plasticité que n'ont pas les autres corps, en général les corps inertes. Et c'est cette plasticité qui lui permet de subir sans dommages le premier cycle, et une fois que le cap du premier cap est franchi, en somme il n'y a qu'un cycle qui agisse, c'est ce premier cycle lui-même.

Les processus d'extrusion existent également. Je vous en parlerai tout à l'heure, à un autre point de vue; dans le cas par exemple où l'on fait l'expérience précédente il y a toujours un petit espace libre; ce processus d'extrusion se fait aussi sur la face supérieure. Si de temps en temps on ouvre la boîte après la congélation, on trouve une couche de glace.

Il y aurait encore beaucoup de choses à dire, je dois malheureusement me limiter et je vais seulement citer un fait très important que nous avons découvert et indiqué au dernier *Congrès des Grands Barrages* à New-York et qui concerne l'évolution de la chaux dans le gel et son rôle dans la gélivité. Ce fait constitue un processus supplémentaire et particulier aux bétons.

Le ciment type de Portland libre à la prise beaucoup de chaux hydratée, par suite de réactions hydrauliques fondamentales. Cette chaux se trouve initialement dispersée d'une façon homogène, mais par la suite elle peut migrer sous diverses influences et justement le gel paraît être un des facteurs de migration, la chaux rassemblée dans certaines régions étant ensuite un facteur de gélivité.

Vous savez que la chaux est notablement plus soluble à froid qu'à chaud, contrairement à la plupart des sels minéraux, de sorte que dans toutes les régions où peuvent exister des cavités, de l'eau excédentaire ou absorbée, on obtient une solution saturée au maximum de concentration pendant la phase de gel. Quand on dégèle, cette solution se trouve en sursaturation et il se dépose de la chaux hydratée libre, matière molle et non adhérente, capable de détruire l'adhérence des matériaux et de migrer vers l'extérieur où on la voit sous forme de lignes dessinant la structure pierreuse. En particulier les phénomènes d'extrusion de la glace travaillent à extruder aussi de la chaux, et la chaux dissoute dans l'eau est précipitée dans la glace dès la formation de celle-ci.

Je vais vous commenter quelques clichés assez spectaculaires, mais maintenant que vous êtes prévenus, vous observerez souvent ces lignes de chaux libre sur toutes sortes d'objets de béton altérés par le gel, poteaux, appuis de fenêtres, murs, etc...

Ces clichés ont été faits suivant les deux techniques suivantes :

— d'une part il est bon de colorer initialement le ciment en noir, nous l'avons fait avec de faibles additions de poudre de schistes bitumineux d'Autun, les lignes de chaux blanches se détachent très nettement. D'autre part on peut rectifier très soigneusement à l'avance les surfaces à observer et quand après les cycles de gel on observe en lumière à incidence rasante, on voit très bien les bourrelets de chaux extrudés et les déchaussements concomitants d'éléments pierreux. On peut aussi faire



FIG. 9.

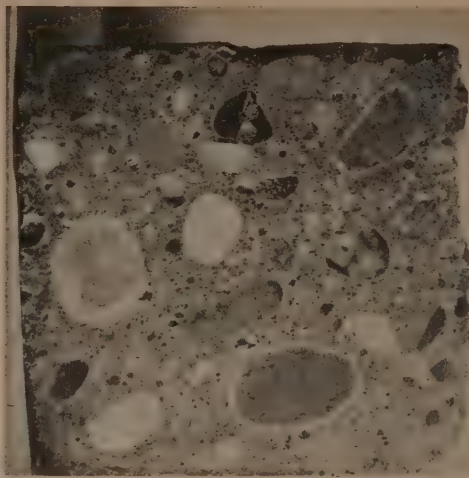


FIG. 10.



FIG. 11.

des observations à l'intérieur des blocs, en particulier quand ceux-ci sont fragmentés par le gel.

Figures 9-10-11-12.

Surface d'un échantillon bien rectifié et photographié après un certain nombre de cycles de gel. La chaux cerne absolument tous les cailloux gros ou petits sous forme d'un petit liseré blanc *en saillie*. La figure 12 représente le cube de la figure 11 après épreuve de compression.

Figure 13.

Face d'un échantillon fait au ciment noir, sans rectification, on a laissé la pellicule superficielle de pâte de ciment solidifiée. Quand on fait sauter cette pellicule, on vérifie que ce réseau de lignes chaux coïncide bien avec la structure pierreuse.

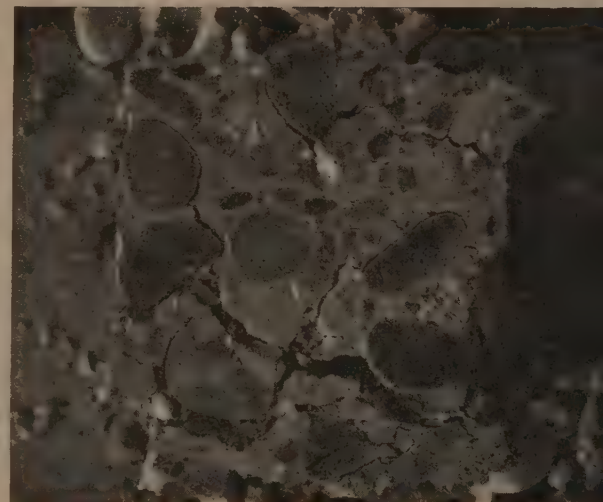


FIG. 12.

Figure 14.

On voit la fatigue de la matière qui se traduit, outre l'extrusion de la chaux, par le gonflement du mortier et la séparation de la pâte et des agrégats.

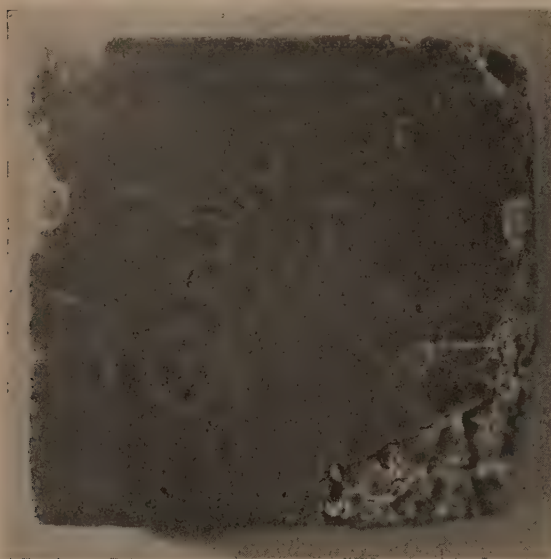


FIG. 13.

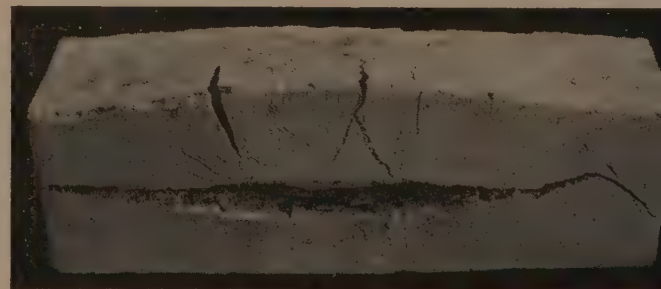


FIG. 14.

Figure 15.

On voit très bien ici le gonflement du mortier. Tous les agrégats dont les faces rectifiées étaient planes se trouvent cernés par la pâte de mortier qui a gonflé *au-dessus* du niveau de rectification (une bille a été posée sur la face vue pour montrer la direction de l'éclairage).



FIG. 15.

Figure 16.

Il y a à la fois le gonflement du mortier et aussi le décollement de tous les agrégats, élément par élément, petits ou gros et une telle perte d'adhérence est certainement due à la chaux qui était extrêmement molle au moment où on a fait l'expérience.

On peut penser que l'extrusion cause aussi un phénomène d'érosion interne du type glaciaire, mais cette érosion paraît bien plus importante dans les matériaux comme le béton où elle joue vis-à-vis de parois qui se dégradent peu à peu par la séparation de la chaux. Un



FIG. 16.

tel échantillon n'est même plus capable de subir une épreuve mécanique de compression et surtout de traction, il tombe en ruine avec séparation et ségrégation des constituants.

Figure 17.

Échantillon analogue fait avec des cailloux roulés; vous voyez que tout le bloc est en train de se désagréger. Dans les parties les moins désagrégées il y a de véritables réseaux de chaux blanche et on voit très bien le processus de la ruine. Partout, dans les alvéoles laissées par les cailloux déchaussés, on voit des lignes de séparation et une grande fatigue partout où la chaux s'est concentrée.

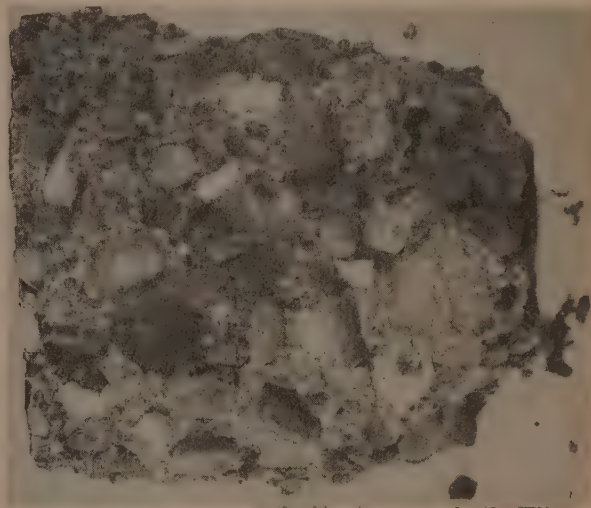


FIG. 17.

Figure 18.

Tous les cailloux sont définitivement séparés, cela n'a même plus figure d'échantillon. Je vous invite à vous recueillir devant ce tableau mélancolique : C'était un brave béton normalement constitué, et voilà ce que le gel en a fait, sans intervention de la moindre contrainte mécanique artificielle.

— Nous avons parlé de la chaux. En réalité il n'y a pas que la chaux libre qui est en jeu, il y a aussi la chaux hydrolysable. Toutefois je suis obligé de m'en tenir là et j'espère plus tard revenir sur ces questions.



FIG. 18.

TROISIÈME PARTIE

CONSÉQUENCES DIVERSES ET CONCLUSIONS

J'espère vous avoir montré de près la complexité des phénomènes de gel, et malgré le caractère nécessairement discursif de cet exposé, vous avoir donné quelques éléments d'analyse des faits, en attendant de pouvoir procéder un jour à une synthèse. Des éléments précis d'information peuvent déjà éviter bien des erreurs d'appréciation, et permettre de spécifier correctement des essais de contrôle.

Le gel comme test et révélateur de structure

Il est frappant qu'un échantillon altéré par le gel montre très nettement sa structure ou plus exactement la géométrie de ses points faibles.

— Je vais vous citer un exemple simple, il concerne la craie des écoliers, la vraie craie sciée en bâtons carrés (et non la soi-disant craie en bâtons ronds qui n'est que du plâtre moulé). En apparence c'est un matériau homogène, vous pouvez l'éprouver mécaniquement il donnera toujours la même résistance, on ne voit pas les fissures, on ne voit rien du tout, de temps en temps un bout de silex. Quand on le passe au gel on trouve des myriades de diaclases révélées par le gel et souvent organisées en familles de plans.

— Cela se voit sur beaucoup de pierres en apparence saines. Traitées par le gel elles font apparaître toute une organisation cachée, les fossiles se séparent, etc... Cela est utile pour tester les pierres de concassage. Beaucoup de matériaux, en particulier des calcaires, sont traversés par des familles de plans parallèles, il y a souvent trois familles de plans de diaclases, parfois parallèles sur l'étendue d'une montagne entière. Si l'on prend un fragment parallélépipédique séparé, on n'y voit plus de fissures, mais au gel il se fragmente indéfiniment, et toujours suivant les mêmes familles de plans parallèles, comme un cristal qui se clive. Cela teste très bien la valeur de la pierre, sa solidité, sa forme après concassage, etc... Il arrive d'autre part surtout avec les gros granits que les gros concasseurs délivrent des éléments paraissant sains mais qui sont en réalité préfissurés. Le gel révèle ces défauts très rapidement.

Nous avons vu un autre exemple curieux :

— On nous avait soumis une céramique fabriquée pour des pierres tombales et qui était gélive dans ses conditions réelles d'utilisation. Or, ce matériau paraissait parfaitement sain; ni fissures ni porosité. Or, après l'épreuve de gel on voyait apparaître d'énormes fissures internes, qui montraient que la pâte de fabrication avait été repliée sur elle-même et avait conservé le souvenir de ces plis.

Il en est de même en général pour les terres cuites, céramiques, faïence et même porcelaines qui présentent les mêmes replis internes. Ces replis datent toujours de la fabrication, c'est-à-dire du façonnage de l'argile. Et ceci nous amène justement à parler du cas de l'argile. Une des difficultés de l'étude des argiles est l'étude des structures. Si l'on gèle une pâte d'argile, la structure se trouve durcie dans l'ensemble, et l'on constate une structure feuilletée. On se rend compte facilement que ce feuilletage est la géométrie de toutes les surfaces de glissement

différentiel dans le dernier écoulement ou la dernière déformation plastique, même très petite que l'on a fait subir à l'argile. Par exemple si on remplit un pot de Vicat avec une pâte d'argile, et qu'on enfonce dedans une sonde de Vicat, on trouve après gel les lignes de courant créées par ce petit et dernier dérangement de la matière, révélées par le gel et qui donnent l'impression fautive d'avoir été causées par des contraintes extraordinaires.

Cela amène à penser d'ailleurs que les sédiments feuilletés (schistosité) n'ont pas été forcément feuilletés par des pressions énormes et des mouvements orogéniques extraordinaires. Il a suffi que la dernière structure de matière molle ait été fixée par les circonstances les plus banales, dessiccation, gel, cuisson, etc... et on peut avoir de la schistosité dans des endroits où il n'y avait pas de pressions, fonds de lagunes, produits de décomposition de roches en place, etc...

Le gel comme test global des matériaux

— Donc en général le gel est révélateur des structures et des défauts de continuité ou simplement des défauts d'isotropie. J'ai proposé depuis longtemps d'utiliser le gel comme *test global* de valeur d'un matériau, car son action fait vraiment la somme intégrale de toutes les singularités qui, pour l'homme de l'art, sont autant de défauts plus ou moins graves.

Ces essais sont d'une part visuels et qualitatifs et d'autre part quantitatifs si l'on normalise des conditions d'épreuves suffisamment précises.

Le gel *fatigue* la matière d'une façon particulière, et d'une façon plus complète et plus dangereuse que n'importe quel essai particulier, à la fois par cette expansion généralisée qui est l'inverse d'une compression hydrostatique ou de traction triaxiale, impossible d'ailleurs à produire par toute autre méthode, et aussi par ces phénomènes d'érosion et de décomposition interne.

Il y a bien des années que je m'en sers au laboratoire sur toutes sortes de matériaux, mais surtout des bétons. Quand on nous demande un avis sur le béton, en dehors des épreuves classiques, nous faisons les épreuves de gel même si on ne nous les demande pas, et cela nous permet de donner une appréciation exacte, même si par ailleurs on ne voit rien de très net. Finalement on peut dire qu'un matériau qui résiste au gel résistera probablement à tout, que c'est un excellent matériau.

L'amélioration des ciments et bétons

On peut se servir évidemment de ces études pour essayer d'améliorer les ciments. Il est à présumer que toutes les fois qu'on absorbera cette chaux par un moyen quelconque, on diminuera la gélivité; ceci rejoint les autres expériences faites par M. Mary. Vous savez que son expérience a porté sur de très grands ouvrages. Cela rejoint les expériences faites à notre instigation sur les ouvrages d'Algérie pendant des années et sur une vaste échelle.

Il est certain que pour toute sorte de raisons la chaux libre est néfaste pour le béton, que ce soit pour la stabilité vis-à-vis des eaux salines, de la stabilité vis-à-vis du gel, en général, le premier facteur qui est à éliminer c'est la chaux libre et l'évolution possible de cette chaux libre.

Et justement dès que l'on ajoute du laitier ou une matière capable d'absorber, de fixer la chaux libre, on constate à la fois la disparition de toutes les lignes de chaux et de la gélivité. Les figures suivantes montrent la différence de résistance au gel de bétons de composition différente.

Figure 19. — A droite il y a trois cubes de 11 cm; à gauche il y a trois autres cubes de 11 cm; tous sont en ciment Portland. Ceux de gauche ont été faits normalement tandis que ceux de droite ont été faits avec des additions salines. La série de droite est beaucoup moins abîmée que la série de gauche et ceci après quarante cycles de gel.

Figure 20. — Comparaison entre deux séries de trois cubes, toujours de même dimension, après 36 cycles. Celui de gauche de chaque série est moins abîmé que les deux suivants. Dans l'ensemble, chacune des séries de trois cubes est à peu près dans le même état. Les cubes de droite sont faits en ciment de Portland, les autres sont faits avec une addition de 25 % de laitier, mais sans aucune addition saline, et vous voyez que dans ce cas-là il n'y a pas de différence appréciable entre les résultats avec et sans addition.

Les cubes qui ont le mieux résisté marqués AP 5 et A 5 ont subi un traitement supplémentaire après leur coulée; ils ont été chargés de 5 kg, c'est-à-dire qu'on a mis une petite plate-forme en bois dessus avec un poids de 5 kg. Autrement dit, ils ont subi une légère contrainte pendant leur durcissement et cela a suffi pour leur donner

une longévité nettement plus élevée. Ceci montre simplement que si le béton subit une précontrainte légère il est capable d'encaisser des épreuves comme celles du gel, mieux que s'il n'a pas subi de contrainte, simplement parce que les éléments sont un peu plus serrés.

Figure 21. — Trois séries de deux cubes faits avec trois dosages de laitier. Ils ont subi quatre-vingts cycles de gel avec réimbibition chaque fois. Le résultat est visible et incontestable. Les deux cubes de gauche ont eu une addition de seulement 25 % de laitier. Les deux du milieu ont reçu une addition de 50 % et les deux de droite une addition de 75 %. Il semble bien qu'il y a une dose optimale qui est à peu près de 50 % de laitier. Ces mélanges comportent de petites additions salines.

Pourquoi faut-il ajouter des additions salines? Il y a une réponse très simple : quand on fait des additions salines, on augmente énormément les vitesses de réaction des milieux à base de chaux et en particulier la fixation de la chaux par les laitiers.

Une autre amélioration justifiée par le gel est l'adjonction systématique de bulles gazeuses dans le béton. Cette application a été très controversée, mais il est incontestable que si on obtient effectivement des bulles indépendantes, et non un ensemble de cavités librement communicantes, le béton est beaucoup moins gélif, parce que de telles cavités qui se remplissent très difficilement constituent des volumes d'expansion pour la glace. Mais cette protection contre le gel est précaire, l'air peut s'en aller peu à peu. Cet ensemble de faits, protection et disparition de la protection, dépend du dosage en ciment, du sable, de l'état de dessiccation, etc... Il est certain qu'il ne sert à rien d'ajouter des bulles à un béton maigre qui possède une porosité énorme dès qu'il est desséché. Les bulles peuvent aussi cesser de jouer leur rôle dans un béton mal conservé. Autrement dit

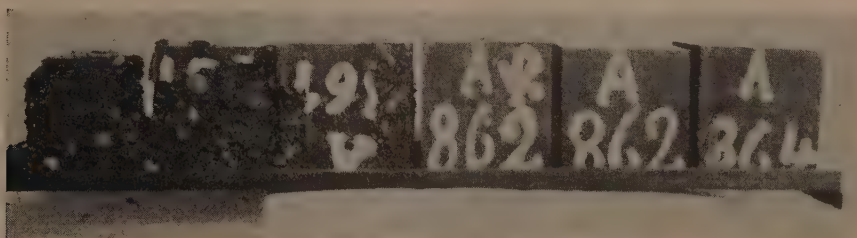


FIG. 19.



FIG. 20.

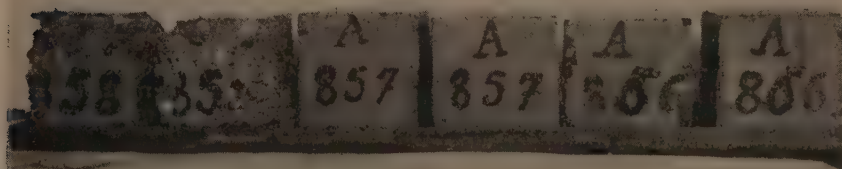


FIG. 21.

ce n'est pas une panacée pouvant transformer un mauvais béton en bon béton.

Seule la connaissance approfondie des mécanismes du gel peut suggérer des améliorations convenables dans chaque cas particulier. Je vais vous citer un exemple simple : pour un poteau en béton les altérations du béton et des armatures commencent par le haut. Il est utile de mettre simplement un petit chapeau en zinc sur le

sommet, comme on le fait couramment pour les poteaux en bois et comme je l'ai vu faire en Suisse, on retarde et on évite peut-être entièrement la destruction progressive par les intempéries, précisément dans un des cas les plus difficiles qui soient. De même je voudrais suggérer de mettre sur la paroi amont d'un barrage une chape imperméable pour éviter l'imbibition permanente de la face aval et sa dégradation par le gel quand il y a risque de gel.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Je m'arrêterai là, car il faut bien s'arrêter et le sujet est si vaste et si intéressant qu'il n'y aurait pas de raison que je m'arrête. Je désirerais terminer sur une conclusion optimiste qui se dégage de toutes les observations que je vous ai présentées.

Nous constatons qu'en somme *les matériaux se défendent* souvent assez bien eux-mêmes contre le gel, car s'ils étaient toujours soumis à des cycles parfaits, au sens qui a été défini, il y a longtemps qu'ils seraient réduits en fine poussière et nous n'aurions plus de maisons et plus de toits. Nous devons donc les aider et renforcer au mieux les processus divers qui limitent *la gélivité qui reste avant tout un phénomène aléatoire*.

Nous constatons aussi, que *les essais de gel artificiel à cycles parfaits sont toujours plus durs* que ceux que réalise la nature.

Les épreuves de gel artificiel sont utiles, on y réalise le risque maximal de gélivité. Il est naturel et heureux que dans la nature les choses aillent moins mal qu'au laboratoire. Mais leur étude et leur réalisation fait partie des moyens rationnels d'étude d'un phénomène aléatoire.

Je souhaite avoir à la fois instruit et rassuré les techniciens. La situation est la suivante : les cimentiers et

fournisseurs de matériaux sont ennuyés parce qu'on les accuse d'avoir fait des matériaux gélifs. Tantôt c'est l'un, tantôt c'est un autre qui aurait tort. Ils sont accusés en ordre dispersé et ne sont pas en présence en réalité d'un tribunal compétent.

D'autre part les constructeurs ont tendance à tout exiger des matériaux. Cela n'est pas possible. Si on demande tout aux matériaux, si on ne prescrit aucune précaution, si on ne met pas des petits chapeaux pointus sur les poteaux, il est évident que l'on augmentera *le risque* et les choses n'avanceront pas.

Pour que les choses avancent il faut que chacun y mette du sien et il faut pouvoir départager en établissant des contrôles normalisés. Ces essais il ne faut pas les faire trop sévères, la sévérité étant surtout limitée en limitant le nombre de cycles et la perfection du dégazage. On sait bien que de toute manière si on fait un nombre infini de cycles parfaits on arrivera à une résistance nulle, ce qui n'a aucun intérêt. En réalité il suffit de quelques cycles bien définis pour avoir un test pratique. Quand les intéressés sauront qu'il y a une possibilité de contrôle et de jugement bienveillant, chacun fera de son mieux sans crainte et sans arrière-pensée et les choses iront de mieux en mieux.

CONCLUSION DU PRÉSIDENT

Je remercie M. Berthier des indications qu'il nous a données et en particulier de l'analyse qu'il a faite du mécanisme de la formation de la glace à l'intérieur des matériaux de construction, pierre ou béton, ainsi que du déplacement de l'eau et de la glace dans les pores du béton.

On fait actuellement dans le monde entier beaucoup d'essais de gel. Mais je pense que beaucoup d'expérimentateurs n'ont pas une idée très claire du mécanisme des phénomènes dont ils se bornent à constater les effets, sans idée directrice scientifique. Les réflexions qui viennent d'être développées méritent d'être portées à leur connaissance.

M. Berthier nous a proposé de normaliser les essais de gel. Je dois dire que jusqu'à présent, toutes les tentatives de normalisation, sur le plan national ou international ont échoué, car la base scientifique faisait défaut.

Je voudrais vous demander si vous avez des observations, des objections, des contradictions, à apporter à l'exposé de M. Berthier.

DISCUSSION

M. LAFUMA. — M. le Président, il s'agit moins de contradictions, mais d'observations et plus exactement de questions.

M. BERTHIER sait combien nous nous intéressons à tous ces problèmes. M. BERTHIER a beaucoup insisté sur l'intérêt de son exposé, remarquable d'ailleurs, en ce qui concerne le problème de faire de bons essais. Je suis entièrement d'accord. Il est très important de chercher à comprendre exactement ce qui se passe pour faire de bons essais.

M. BERTHIER a passé un peu plus rapidement sur un autre problème tout à fait à la fin de son exposé; il a dit qu'au fond ce qu'il fallait faire, aussi, c'est de chercher à améliorer les bétons. Je dois dire que cela je le mets bien avant le problème de faire de bons essais. Et c'est cela qui va m'amener à poser des questions à M. BERTHIER.

Je dois dire qu'en ce qui concerne les essais de laboratoire sur la gélivité, je suis un petit peu sceptique. Lors du dixième anni-

versaire du Centre d'études, nous avons eu un exposé de M. CZERNIN, sur les essais de gélivité de béton et sur l'influence du ciment dans ces essais. M. CZERNIN, à son grand étonnement et au nôtre, a conclu de ces essais, que les meilleurs ciments étaient au fond les super-ciments, qui tenaient le mieux dans les essais de gélivité.

J'attire l'attention de M. BERTHIER sur un point analogue; c'est quand il nous a dit que les additions salines amélioraient très nettement les résistances au point de vue gélivité. Cela pour un nombre de cycles relativement limité. Mais je ne suis pas de l'avis de M. BERTHIER quand il dit qu'on doit limiter le nombre de cycles; je pense qu'on pourrait faire des erreurs graves sur la véritable tenue du matériau.

Mais le point sur lequel je voudrais avoir l'avis de M. BERTHIER est le suivant : il nous a parlé des produits entraîneurs d'air; il a signalé le résultat positif, l'efficacité de la technique de l'entraînement d'air dans la pratique, en nous disant qu'au fond le béton avec de l'air occlus s'imprégnait moins facilement d'eau, l'imbibition était moins facile. Cela je crois explique bien en partie le résultat pratique; mais dans ces bétons à entraînement d'air, ce qui est remarquable d'un autre côté c'est qu'ils résistent remarquablement aux essais de gélivité de laboratoire où ils ont là tout le temps de s'imbiber d'eau complètement.

J'avoue que, sans y avoir plus réfléchi, cela me paraît un petit peu difficile de concilier les résultats de laboratoire sur les bétons à entraînement d'air, avec les explications que nous a données M. BERTHIER. Parce qu'il s'agit dans le cas particulier toujours de ciment Portland. Par conséquent en ce qui concerne l'influence de la chaux que M. BERTHIER a bien mise en évidence, on ne voit pas a priori pourquoi elle jouerait différemment avec entraîneur d'air et sans entraîneur d'air. Maintenant, peut-être qu'après tout il y a une différence sensible; je ne sais pas; je pose la question à M. BERTHIER.

M. BERTHIER. — Si j'ai bien compris, vous demandez, M. LAFUMA, s'il y a une relation entre la gélivité due à la chaux libre et la résistance au gel qu'apportent les entraîneurs d'air?

M. LAFUMA. — Je pense qu'à première vue le fait de mettre un pourcentage très faible d'entraîneur d'air ne modifie en rien la teneur du béton en chaux libre.

M. BERTHIER. — D'accord, mais je crois qu'il s'agit de questions tout à fait différentes. Les entraîneurs d'air sont chargés en somme de créer des bulles, des lacunes. Ces lacunes, je crois, jouent le rôle de réserves d'expansion, je n'y vois pas d'autre explication, d'autant plus qu'on voit la glace envahir ces lacunes. Je crois que cela n'a rien à voir avec la question de la chaux.

Si on essaye ces entraîneurs d'air, d'autre part, avec des bétons plus ou moins riches en chaux, on trouvera probablement que les phénomènes liés à la chaux produisent leurs incidences normales, mais je crois que ce sont deux questions qui sont différentes.

Toutes ces questions sont à l'étude chez nous, et c'est pour cela que je n'ai ici qu'effleuré ce sujet, comme l'a remarqué M. LAFUMA.

Que peut-on imaginer comme interaction des entraîneurs d'air, du gel et de la chaux?

On peut faire des bulles, des lacunes, de plusieurs façons, par agitation mécanique, par réactions chimiques, avec ou sans addition de produits tensio-actifs. Je veux simplement signaler ici que ces produits ont une influence utile sur la facilité d'extrusion de la glace en produisant une sorte de lubrification interne. Bien entendu cette action est temporaire et doit s'effacer peu à peu. Comment ce facteur peut-il avoir une interaction avec les migrations de chaux, je n'en sais rien et pour le moment il vaut mieux traiter les deux questions séparément.

Vous parlez aussi de la correspondance entre la résistance mécanique des super-ciments et leur résistance au gel. Je vous avoue que je n'ai pas encore fait d'expériences systématiques pour faire la comparaison entre des super-ciments et des non super-ciments. Sur ce point, je ne peux pas vous répondre.

M. LAFUMA. — Je voulais simplement indiquer que dans les essais de laboratoire tels que ceux de CZERNIN, les super-ciments ont tenu beaucoup mieux que les ciments ordinaires et que l'expérience pratique, au fond, est dans le sens inverse. C'est-à-dire que quand on fait des essais de laboratoire, on les fait sur de tout petits prismes qui durcissent et se rétractent librement, par conséquent qui ont une homogénéité très grande, alors que dans les travaux de la pratique une bonne partie de la gélivité vient des défauts de structure. Et ces défauts de structure sont beaucoup plus nets dans le cas où l'on emploie des super-ciments que si on emploie des ciments ordinaires.

M. BERTHIER. — Il y a d'abord dans cette question la difficulté de comparaison de résultats obtenus au laboratoire sur des matières différentes. Je suppose qu'on a fait des mesures en gelant des éprouvettes, en faisant ensuite à plusieurs reprises, des prélèvements après un certain nombre de cycles, et en faisant sur ces prélèvements les épreuves mécaniques. On obtient ainsi des courbes qui donnent les variations de résistance en traction ou compression en fonction du nombre de cycles et par rapport à des témoins. Dans ces conditions un ciment à haute résistance offrira sur une bonne partie de ses courbes de résistance, une résistance *absolue*, meilleure que ne pourra le faire un ciment de moindre résistance normalisée. Toutefois il est nécessaire pour que la comparaison soit correcte de tracer les courbes d'*abaissements relatifs de résistance pendant le gel* et de faire les comparaisons sur ces courbes. Je ne sais pas si cela a été fait dans le cas des super-ciments, mais je crois que c'est la seule méthode de comparaison correcte.

Il y a, ensuite, dans ce qu'a évoqué M. LAFUMA, la question des défauts de structure jouant un grand rôle dans le gel naturel, et dans cette catégorie de défauts il y a probablement la question des fissurations. Là-dessus, je crois que vous connaissez mon point de vue. S'il y a des fissures c'est qu'il y a retrait, et le retrait est la manifestation du potentiel de cohésion, ce n'est pas la faute des cimentiers. Si on leur demande du ciment de haute résistance initiale, ils feront un ciment qui aura à la fois une haute résistance et une grande tendance au retrait, il faut y penser quand on a besoin de prévoir l'emploi d'un ciment à haute résistance initiale, et y parer par les artifices que l'empirisme a proposés. Bien entendu les fissures augmentent la gélivité, c'est tout à fait normal.

M. LHOPITALIER. — Je ne suis pas d'accord sur le rôle nocif attribué à la chaux. Lorsque vous soumettez au gel des bétons de ciments de laitier d'une part, des bétons de ciments artificiels d'autre part, les ciments de laitier résistent tout d'abord bien mieux que les ciments artificiels correspondants. Mais cette constatation s'inverse avec la durée du durcissement précédant le gel. Le béton de ciment de laitier qui, initialement, résistait mieux que le béton de ciment artificiel, résiste moins bien par la suite. On ne voit pas en quoi ceci pourrait être expliqué par la chaux libre.

M. LE PRÉSIDENT. — Je sais que ce point nous sépare, car nous n'avons jamais observé le phénomène que vous signalez. Il serait utile qu'une confrontation précise soit faite entre les essais qui ont été effectués dans votre laboratoire et ceux qui ont été effectués par d'autres expérimentateurs. Une analyse exacte des conditions d'essais permettrait peut-être de résoudre cette contradiction.

M. LHOPITALIER. — Nous avons fait cette observation non pas des dizaines mais des centaines de fois. Nous retrouvons le même résultat régulièrement et par plusieurs méthodes.

Je pourrais vous communiquer des chiffres.

M. BERTHIER. — Très volontiers. Mais mon opinion est basée sur des faits que j'ai bien observés moi-même. Je dois vous dire que j'ai une certaine habitude des expériences et tout ce qui se passe chez moi je le regarde moi-même avec beaucoup d'attention. Rien ne passe inaperçu et je regarde tout en détail. Toutes les fois qu'il y a eu quelque chose d'un peu anormal, on a toujours trouvé qu'il y avait eu une erreur quelque part.

Le résultat constant des mesures sur des ciments de laitier bien dosés, c'est celui que je vous ai décrit.

L'ennuyeux, quand on compare des résultats d'autres expérimentateurs, c'est qu'il est souvent impossible de les suivre. Je ne mets absolument pas en doute la véracité de ce que vous avez constaté, mais je dis que je ne suis pas en état de connaître le manuel expérimental suivi. C'est pour cela que j'ai insisté sur l'application de toutes ces recherches pour créer un manuel expérimental de gel, car il suffit de petites variations dans le procédé d'expérimentation pour changer complètement le résultat.

C'est ainsi que par exemple ce petit phénomène de distillation fausse complètement les résultats et les fausse d'une manière différente suivant les échantillons, suivant l'endroit où vous prenez l'échantillon. Tandis que quand on opère d'une manière correcte, si on est sûr qu'il n'y aura pas de distillation, si on est sûr d'un certain nombre de choses, on peut presque mettre les éprouvettes n'importe où dans le frigo; la vitesse de gel n'est plus tellement importante. Les différences expérimentales s'atténuent.

Mais, il y a aussi ceci, quand on parle de ciment de laitier : il faut s'entendre; il y a toute sorte de ciments de laitier. Il y a les anciens ciments métallurgiques, où on faisait une mouture en même temps de laitier et de clinker; d'ailleurs ces ciments ont donné plus de déboires que d'agrément. Je n'ai pas beaucoup travaillé sur ces ciments-là, mais il est bien possible que si on expérimente sur eux, on puisse trouver à longue échéance des pertes de résistance importantes puisque de toute manière ils ne sont pas très bons.

Mais, si on fait un ciment de laitier avec du Portland, par exemple le vôtre (je l'ai beaucoup utilisé et je l'aime bien parce qu'il est extrêmement régulier et on sait exactement ce qu'il y a dedans) auquel on mélange un laitier moulu d'un fourneau qu'on connaît bien, qui a une production régulière, avec une mouture bien régulière, si on opère toujours de la même manière, dans les mêmes conditions; on ne trouvera jamais que, dans les essais de gel, le ciment à base de laitier voie sa résistance tomber au-dessous de celle du Portland.

Maintenant j'examinerai avec beaucoup de soin les documents que vous voudrez bien me montrer et nous essayerons de voir d'où vient la différence. Du moment qu'il y a une différence, il faut bien qu'elle vienne de quelque part. Elle peut venir d'un point qui a échappé aux différents expérimentateurs; il sera toujours intéressant de savoir pourquoi.

M. LHOPITALIER. — A votre disposition.

M. JOISEL. — Je voudrais dire un mot à propos de la controverse entre M. BERTHIER et M. LHOPITALIER. En ce qui concerne les essais de laboratoire nous avons remarqué que les dosages du ciment et de l'eau avaient une importance exceptionnelle. Chaque fois qu'on augmente le dosage en ciment, on augmente considérablement la résistance du gel des éprouvettes. Chaque fois qu'on augmente le dosage en eau, on augmente le rapport eau/ciment, et l'on diminue considérablement la résistance au gel.

Ceci nous a amenés à penser que les laitiers avaient une certaine supériorité sur les Portlands : toutes choses égales d'ailleurs, c'est-à-dire à dosages en poids égaux, les laitiers étant plus légers ont un volume supérieur, et leur dosage en volume est supérieur. Les laitiers ont souvent une autre supériorité sur les Portlands : en général ils sont moulus plus fins; nous avons remarqué dans les essais de laboratoire, pour les petites éprouvettes, que l'augmentation de la finesse augmentait considérablement la résistance au gel. Par contre, si l'on fait des additions de laitier à finesse égale et à teneur en gypse égale, nous ne trouvons pas systématiquement une augmentation de la résistance au gel avec l'augmentation du laitier, en particulier à longue échéance.

Il est donc possible que les avantages du laitier qui ont été constatés expérimentalement, soient dus non seulement au phénomène de l'absorption de chaux que vous avez signalé, mais peut-être à d'autres phénomènes : plus grande finesse, poids spécifique moindre et également chaleur d'hydratation plus faible (qui peut influencer sur les ouvrages en grande masse).

M. BERTHIER. — Oui, bien sûr, les facteurs que vous signalez ont un rôle, mais en ce qui concerne la résistance mécanique, les caractéristiques usuelles et la résistance au gel, il n'est pas intéressant de dépasser une certaine dose de laitier.

M. JOISEL. — Nous avons fait des additions de laitier systématiques, allant de 0 à 80 %. Si on opère toutes choses égales d'ailleurs, c'est-à-dire à finesse égale, il n'y a pas de maximum de résistance au gel pour une certaine proportion de laitier.

M. LHOPITALIER. — Nous trouvons aussi que s'il n'y a pas intérêt à incorporer beaucoup de laitier au clinker d'artificiel; il existe cependant une teneur pour laquelle la résistance au gel du liant obtenu est plutôt meilleure que celle du Portland.

M. LE PRÉSIDENT. — Les mesures de laboratoire, sur quelque sujet que ce soit, comportent des dispersions. Même sur les essais de résistance, on obtient des dispersions importantes qu'on souhaiterait voir réduire. Mais quand on passe à la perméabilité et à la résistance au gel du béton, les dispersions sont considérables. Il ne faut donc conclure qu'au vu d'essais répétés et de caractère statistique, dont les conditions soient parfaitement connues. Il est bien possible que les divergences d'opinion viennent de la dispersion.

M. LHOPITALIER. — Je ne le crois pas, étant donné la constance de nos résultats.

M. LE PRÉSIDENT. — Ce qui me surprend, c'est que quand on envoie des échantillons dans le monde entier, tous les résultats sont concordants. C'est un fait aussi cela.

Je remercie M. BERTHIER de son exposé très intéressant et je pense que, pour aujourd'hui, la discussion peut être close.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

(Reproduction interdite.)

**LISTE ARRÊTÉE AU 1^{er} JUILLET 1960 DES CAHIERS DES CHARGES
ET RÈGLES DE CALCUL D. T. U.**

DÉNOMINATION	ÉTABLI PAR	PUBLIÉ PAR
Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions (dites règles N. V. 46).	Commission spéciale présidée par M. Caquot.	La Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics et C. S. T. B. (janv. 1947).
Cahier des charges applicable aux travaux de maçonnerie.	C. S. T. B.	C. S. T. B. 2 ^e éd. du Cahier 134 (juin 1958).
Cahier des charges applicable aux travaux de ravalement-maçonnerie.	D. T. U.	Cahiers du C. S. T. B. 329. Livraison 41 (déc. 1959).
Cahier des charges applicable aux travaux effectués en béton caverneux à granulats lourds sans éléments fins.	C. S. T. B.	Cahier du C. S. T. B. 272. Livraison 33 (1958) et Moniteur n° 135 (supplément) du 18 octobre 1958.
Cahier des charges applicable aux travaux effectués en béton caverneux à granulats lourds avec éléments fins.	C. S. T. B.	Cahier du C.S.T.B. 322. Livraison 40 (octobre 1959).
Règles d'utilisation du béton armé (dites règles B. A. 1945).	Commission spéciale présidée par M. Caquot.	Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics (mars 1948).
Règles d'utilisation des ronds crénelés et lisses pour béton armé de limite d'élasticité supérieure ou égale à 40 kg/mm ² (dites règles 48 ronds n°. 40-60).	Commission spéciale présidée par M. Caquot.	La Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics (octobre 1948).
Cahier des charges pour réservoirs et cuves (en béton armé).	F. N. B.	Société d'Édition du Bâtiment 1957 et Ann. BTP-février 1960. TMC/37, 8, quai de Gesvres, Paris 4 ^e .
Cahier des charges applicable aux travaux d'enduits.	Extrait du Cahier correspondant S. N. C. F.	Cahier du C. S. T. B. 314. Livraison 39 (août 1959) et Moniteur n° 145 du 8 août 1959.
Cahier des charges applicable aux travaux de plafonds suspendus en éléments de terre cuite.	C. S. T. B.	Cahier du C. S. T. B. 313. Livraison 39 (août 1959) et Moniteur n° 145 (supplément) du 29 août 1959.
Cahier des charges applicable aux travaux de plafonds fixés : — plaques de plâtre à enduire. — plaques de plâtre à parement lisse.	C. S. T. B.	Cahier du C. S. T. B. 343. Livraison 43. (avril 1960).
Cahier des charges applicable aux travaux de plafonds suspendus : — plaques de plâtre à enduire, — plaques de plâtre à parement lisse, directement suspendus.	C. S. T. B.	Cahier du C. S. T. B. 343. Livraison 43 (avril 1960).
Recommandations de mise en œuvre et règles de calcul mécanique et thermique des blocs creux de terre cuite de grand format à perforations horizontales pour murs extérieurs enduits.	F. F. T. B. et C. S. T. B.	4 ^e document du cahier du C. S. T. B. 298. — Livraison 37 (avril 1959) et Moniteur n° 145 du 13 juin 1959.
Cahier des prescriptions techniques générales applicable aux travaux de charpente et escaliers en bois.	C. S. T. B.	Cahier du C. S. T. B. 164. Livraison 17 (1953).
Règles pour le calcul et l'exécution des constructions métalliques (dites règles CM 56).	Commission spéciale présidée par M. Caquot.	Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics (janvier 1956).
Cahier des charges de constructions métalliques concernant le bâtiment.	C. S. T. B.	Cahier du C. S. T. B. 343. Livraison 43 (avril 1960).
Cahier des charges des revêtements de sol scellés applicables aux locaux d'habitation, bureaux et établissements d'enseignement.	C. S. T. B.	Cahier du C. S. T. B. 244. Livraison 29 (1957) et Moniteur n° 132 du 15 mars 1958.
Cahier des charges pour la fourniture des revêtements de sol en linoléum.	C. S. T. B.	Cahier du C. S. T. B. 286. Livraison 35 (1958).
Cahier des charges applicable aux travaux d'étanchéité des toitures terrasses et des toitures inclinées.	C. S. T. B.	Cahier du C. S. T. B. 328. Livraison 41 (décembre 1959).
Cahiers des prescriptions techniques générales applicables aux travaux de peinture, nettoyage, de mise en service, vitrerie, miroiterie, papier de tenture.	C. S. T. B.	Cahier du C. S. T. B. 139. Livraison 14 (1952).
Cahier des charges applicable aux travaux de ravalement-peinture.	Groupe D. T. U.	Cahier du C. S. T. B. 336. Livraison 42 (février 1960).
Cahier des charges applicable aux travaux de plomberie sanitaire pour bâtiment à usage d'habitation.	C. S. T. B.	Cahier du C. S. T. B. 321. Livraison 40 (octobre 1959).
Cahier des charges provisoire des installations de chauffage central concernant le bâtiment.	Groupe D. T. U.	Cahier du C. S. T. B. 336. Livraison 42 (février 1960), 4, avenue du Recteur Poincaré, Paris 16 ^e .
Méthodes de calcul des déperditions thermiques des locaux en régime continu (dite règles CORMAT).	A. I. C. V. F.	Association pour le Progrès par la Vulgarisation du Chauffage et de la Ventilation en France, 19, rue Blanche, Paris 9 ^e .
Recommandations relatives aux constructions à édifier dans les régions sujettes aux séismes dites « AS 55 ».	Ministère de la Construction	Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 9, rue La Pérouse, Paris 16 ^e .

Liste arrêtée au 1^{er} juillet 1960 des ouvrages " conformes aux D.T.U. "

Travaux de ravalement. — Guide Pratique. Le Plâtre.	F. N. B. — I. T. B. T. P. - F. P. B. SYNDICAT NATIONAL DES FABRICANTS DE PLATRE.	C. S. T. B. décembre 1959. Syndicat National des Fabricants de Plâtre 1959, 11, rue Alfred-Roll, Paris 17 ^e .
--	--	---

Liste arrêtée au 1^{er} juillet 1960 des documents D.T.U. autres que les Cahiers des charges et les Règles de Calcul

Panneaux de façade menuisés. — Prescriptions techniques applicables aux panneaux utilisés en territoire métropolitain.	C. S. T. B. et F. N. B.	Non encore édité.
--	-------------------------	-------------------

VIENT DE PARAÎTRE

MÉTHODES D'ESSAIS U.N.P. DES PRODUITS DE PEINTURE UTILISÉS DANS LES TRAVAUX DE BATIMENT

Dès la première édition des spécifications U.N.P. des produits de peinture pour les travaux de bâtiment, les auteurs de cette publication s'étaient appuyés sur les études pratiquées dans les laboratoires tant en France qu'en Europe et en Amérique pour établir des méthodes concernant les contrôles.

Ces méthodes ayant maintenant été pour la plupart mises au point, l'Union Nationale des Peintres-Vitriers de France et la Fédération Nationale des Fabricants de Peintures ont établi une première série de Méthodes d'Essais U.N.P. des Produits de Peinture utilisés dans les travaux de bâtiment.

Cette première série de méthodes d'essais U.N.P. vise le contrôle des caractères physiques des produits de base, les essais sur les produits au cours de leur application et sur les produits appliqués en couche après séchage, les essais d'usure et de vieillissements artificiels.

Ces méthodes doivent servir aux Maîtres d'œuvre et aux Entrepreneurs pour faire opérer les contrôles en cas de besoin.

Elles se présentent sous forme de fascicules et d'une liste récapitulative réunis par un cartonnage extensible dans lequel pourront être incorporées les éditions ultérieures. Cette première publication est mise en vente au prix de : 13 NF l'exemplaire. Frais d'expédition : 0,60 NF. Adresser les commandes à la Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 9, rue La Pérouse, PARIS XVI^e, C. C. P. PARIS 8524-12.

DÉJÀ PARU

SPÉCIFICATIONS U.N.P. DES PRODUITS DE PEINTURE UTILISÉS DANS LES TRAVAUX DE BATIMENT

Première série (octobre 1980), 16 fascicules réunis dans un cartonnage extensible.
Deuxième série (juin 1984), 10 fascicules. Quatrième série (novembre 1986), 6 fascicules.
Troisième série (mai 1988), 6 fascicules. Cinquième série (décembre 1987), 6 fascicules.

VIENT DE PARAÎTRE

TOME II

Sciences du Bâtiment du R.E.E.F. 58

rédigé et publié par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

Le R.E.E.F. 58 est la deuxième édition du R.E.E.F.; la première a paru de 1947 à 1952. Son objet est de donner à l'auteur de projets de bâtiments tous les renseignements dont il peut avoir besoin.

Il comprend cinq tomes. Ont déjà paru le Tome I : Législation et réglementation, les Tomes IV et V : Normes. Est à paraître le Tome III : Cahiers des charges d'exécution des travaux. Des suppléments annuels permettront d'enrichir le document en attendant la prochaine édition.

Le Tome II : Sciences du bâtiment, comprend des plans entiers de l'édifice des connaissances techniques en matière de bâtiment qui sont entièrement nouveaux, tels une grande partie des chapitres sur l'hygrothermique ou de la tenue au feu. Dans les matières qui ne sont pas entièrement nouvelles, la présentation est le plus souvent originale, en particulier par son adaptation au bâtiment : témoins l'éclairage, l'acoustique, la sociologie ou l'adaptation des plans à la vie familiale et même la stabilité de l'hydraulique.

Il contient pour la première fois une théorie complète de la qualité dans le bâtiment et une grande partie des moyens d'appliquer cette théorie. On en trouve la charpente au chapitre A : un local destiné à abriter des hommes dans leur vie familiale, dans leur travail, dans leurs études doit répondre à certaines exigences physiologiques ou sociologiques, absolues comme celles qui conditionnent la santé ou contingentes comme celles qui relèvent du confort.

Ces exigences doivent être satisfaites dans les conditions extérieures naturelles ou normales, l'usage des locaux étant normal, cela est rappelé au chapitre B.

Les niveaux d'exigence eux-mêmes sont donnés au chapitre C : ce sont des exigences exprimées en fonction de l'homme, température, niveau sonore, pureté de l'air, etc...

Pour passer de là aux règles de qualité des éléments de la construction, il faut maîtriser les sciences du bâtiment.

Ce sont les différents chapitres D :

1. Acoustique
2. Éclairage naturel et artificiel
3. Tenue au feu des bâtiments
4. Protection contre la foudre
5. Hygrothermique et ventilation
6. L'hydraulique dans le bâtiment
7. Stabilité aux efforts mécaniques
8. Adaptation du logement à la vie familiale.

Ces chapitres sont autant que faire se peut sur le même plan :

- Titre I : Données naturelles
- Titre II : Exigences fonctionnelles
- Titre III : Analyse des phénomènes
- Titre IV : Règles de qualité
- Titre V : Données mécaniques,

c'est-à-dire que dans chaque chapitre on retrouve l'enchaînement de la théorie de la qualité.

En réalité, la plupart des problèmes sont d'ores et déjà solubles non pas par des recettes, mais par l'abord normal des problèmes techniques qui est la réflexion et le calcul. Et il faut s'habituer chaque fois que l'on sort des sentiers battus à consacrer autant de soin et de temps à l'hygrothermie ou à l'acoustique qu'à la stabilité et à l'esthétique. Ces études seront coûteuses; cela veut dire que l'étude d'un projet ne peut s'amortir sur une seule réalisation : autrement dit, la qualité n'est possible que dans la répétition. C'est une vérité d'évidence. Mais tous la voient-ils? Et la répétition n'est possible que dans une commercialisation du marché du bâtiment qui permette de transformer l'entrepreneur à façon d'aujourd'hui en un entrepreneur industriel. C'est aussi une évidence, proclamée il y a deux ans par le Groupe V. Il est clair que cela n'a pas été suffisamment entendu. Aussi, profitons-nous de l'occasion pour taper sur le clou.

La répétition a un autre corollaire, signalé en son temps, sans grands résultats jusqu'à présent, bien que nous soyons là encore dans le domaine de l'évidence superlative.

En vente au Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 4, avenue du Recteur-Poincaré, Paris.